


**UNIVERZITET U ZENICI**
**POLITEHNIČKI FAKULTET**




---

**Dr. NAĐIJA HARAČIĆ I SARADNICI**

# TERMIČKA OBRADA ŽELJEZNIH MATERIJALA

**-SKRIPTA-**

**ZENICA, 2015.**




# *UNIVERZITET U ZENICI POLITEHNIČKI FAKULTET*




---

*Dr. NAĐIJA HARAČIĆ I SARADNICI*

# *TERMIČKA OBRADA ŽELJEZNIH MATERIJALA*

***-SKRIPTA-***

***ZENICA, 2015.***




**UNIVERZITET U ZENICI**
**POLITEHNIČKI FAKULTET**




***Autor*:** Dr Nađija Haračić

*U realizaciji ove Skripte učestvovali su kao saradnici:*

*Šenderović Šemsa, Alić Lara, Telalović Amina, Garić Ernad, Lončar Ilija, Ahmić Haris, Čeliković Faruk, Kotorić Armin, Grabus Nedžad, Agić Emina, Bečulić Asmira, Škopo Emina, Čanić Senita, Žepačkić Kristijan*

***Naslov:*** TERMIČKA OBRADA ŽELJEZNIH MATERIJALA

***Izdavač:*** Univerzitet u Zenici
Politehnički fakultet
Doc.dr. Sabahudin Jašarević, dekan

***Lektor:*** Mr.Sc. Šehanović Senija,
Filozofski fakultet Univerziteta u Zenici

***IT podrška:*** Zlotrg Davor, dipl.ing.el.

Nastavno naučno vijeće Politehničkog fakulteta odobrilo je izradu ove skripte.

## PREDGOVOR

Termička obrada metala opisuje obradu legura toplotom u cilju ilustracije uticaja toplote na promjenu strukturne građe u čvrstom stanju. U okviru ovoga predmeta jednako su obuhvaćena nauka o materijalima i inžinjerstvo materijala, na način da je prikazano kako temperatura i vrijeme mogu utjecati na mikrostrukturu i osobine čvrstih materijala. Pošto se osjeti zakašnjenje nauke u termičkoj obradi, u okviru predavanja iz ovoga predmeta treba više posvetiti pažnju obrazovnom nego praktičnom iskustvu, što prema nekim autorima omogućava napredak više, nego proučavanje vještina termičke obrade. Zbog toga studenti moraju poznavati osnovne pojmove iz matematike, fizike, hemije kao i nauke o materijalima ili inžinjerstva materijala.

Termička obrada nam pruža predviđanje ponašanja metalnih materijala i legura na osnovu njihove izrade i mikrostrukture. U okviru predavanja iz ovoga predmeta studenti treba da nauče široki raspon osobina koje se mogu postići termičkom obradom metalnih materijala. Oni takođe moraju naučiti o odnosima proizvodnja - osobine – učinak kod termički obradivih materijala. Zbog toga je autor, red. prof.dr. Nađija Haračić, na osnovu dugogodišnjeg iskustva u radu sa studentima odlučila napisati ovu skriptu u saradnji sa najboljim studentima iz predmeta Termička obrada metala, III godine Politehničkog fakulteta, odsjek – Proizvodni biznis i predmeta Termička obrada, studenata III godine Mašinskog fakulteta u Zenici, akademske 2014/15 godine.

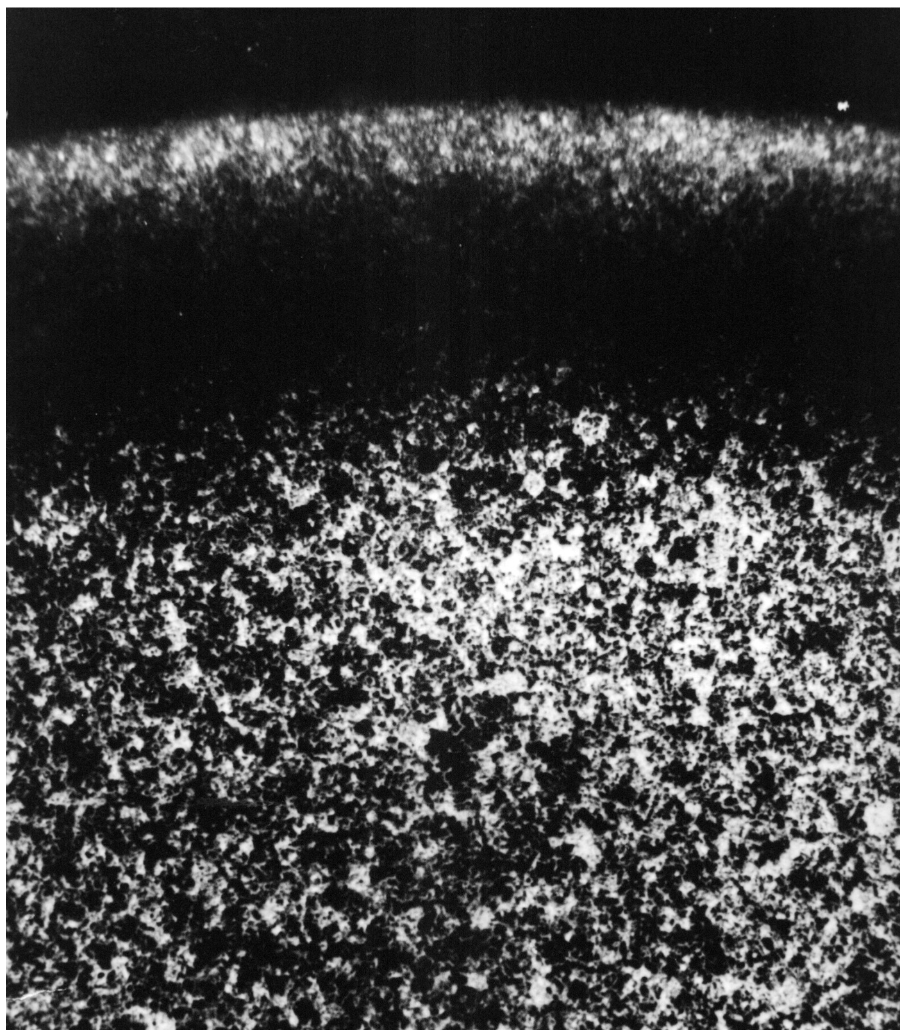
Glavni cilj ove skripte je da studenti nauče kako identificirati praktične probleme iz nauke o materijalima u tehnologiji termičke obrade metalnih materijala, da znaju koji nivo ispitivanja treba primijeniti za ocjenu termičke obrade i da povećaju svoju sposobnost komuniciranja u vezi sa tehničkom materijom u pisanoj i usmenoj formi.

Zenica, 2015. godine

Autor:
Red.prof.
dr. Nađija Haračić

***“Sve izgleda nemoguće dok se ne uradi!”***

***“It always seems impossible until it’s done.”***

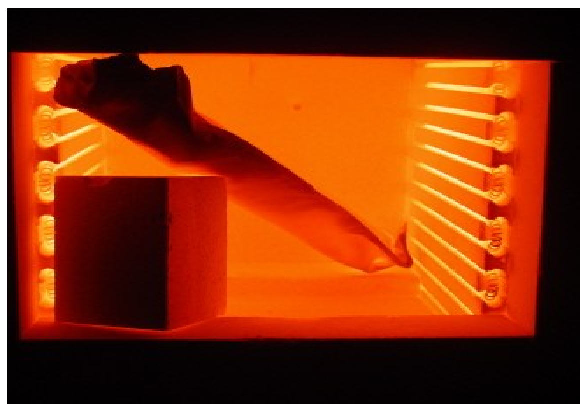


***MAKROSTRUKTURA CEMENTIRANOG ČELIKA 20MnCrB5***
***(Cementacija: čvrsto sredstvoCMD070; 940$^0$ C; 8h)***

**SADRŽAJ**

# 1. ULOGA I ZNAČAJ TERMIČKE OBRADE

Svojstva i ponašanje metala i legura u proizvodnim procesima i u toku eksploatacije zavise od sastava, strukture, načina prerade i termičke obrade kojoj mogu biti podvrgnuti. Važna mehanička svojstva kao što su zatezna čvrstoća, napon tečenja, tvrdoća, žilavost i plastičnost mogu se poboljšati promjenom hemijskog sastava – legiranjem, promjenom veličine metalnog zrna, ali na njih se može uticati i promjenom strukture i stvaranjem novih faza u procesima termičke obrade. Termičkom obradom nazivaju se procesi koji se sastoje od zagrijavanja materijala do kritičnih temperatura u odgovarajućim pećima (slike 1 i 2), držanjem na tim temperaturama određeno vrijeme, a zatim njihovim hlađenjem određenim načinom i brzinom. Jedan od najrasprostranjenih primjera poboljšanja svojstava je termička obrada čelika. Promjena strukture i stvaranje novih faza u procesu termičke obrade čelika događa se u čvrstom stanju, a bazira se na svojstvu polimorfije željeza, promjeni rastvorljivosti ugljika i legirajućih elemenata u rešetki željeza i sposobnosti atoma da se difuzno premještaju na povišenim temperaturama.



***Slika 1. Peć za termičku obradu***

## 1.1. Uloga i teoretske osnove termičke obrade

Termička obrada je postupak djelovanja temperature na materijal u svrhu mijenjanja njegove mikrostrukture i time mijenjanja njegovih svojstava. Termički se najčešće obrađuju čelici, ali ne rijetko i drugi metali, te keramike (staklo). Svi načini termičke obrade metalnih materijala i legura primjenjuju se sa dva osnovna cilja: da se smanji ili poveća otpornost na djelovanje sile.

Smanjenje otpornosti na djelovanje sile preduzima se onda kada je potrebno dalje prerađivanje metala djelovanjem sile ili kada metal ima u takvom stanju pogodnije fizičke i hemijske osobine za određenu namjenu.

Povećanje otpornosti na djelovanje sile procesima završne obrade ima veliki značaj u mašinskoj industriji jer se na takav način postižu visoka upotrebna svojstva dijelova u eksploataciji.

Najčešći razlozi za termičku obradu čelika su očvršćivanje (povećanje mehaničkih svojstava, posebno zatezne čvrstoće), povećanje žilavosti, povećanje duktilnosti i mogućnosti preoblikovanja, smanjenje unutrašnjih naprezanja i priprema za obradu rezanjem. Uopšteno se može kazati, da se smanjenje otpornosti metala i legura ili omekšanje postiže primjenom postupaka žarenja, a povećanje otpornosti metala i legura ili ojačanje (otvrdnjavanje) primjenom postupka kaljenja.

Termička obrada je postupak u kojem se obradak podvrgava nizu temperaturno vremenskih ciklusa, kako bi se postigla željena mikrostruktura, a time i željena svojstva materijala - mehanička, fizička i kemijska. Termička obrada se može kombinovati s hemijskom obradom u svrhu postizanja boljih karakteristika materijala. Ovim se postupkom osim strukture materijala mijenja i hemijski sastav površine ili čitavog obratka, pa se postupak naziva termohemijska obrada materijala. U ovu skupinu spadaju cementiranje, nitriranje, cijaniranje, alitiranje, kromiranje, siliciranje, boriranje itd. Termička obrada se obavlja:

- prije oblikovanja komada plastičnom deformacijom i odvajanjem strugotine, da bi metal omekšao,
- poslije oblikovanja komada, da bi se uklonila zaostala naprezanja,
- završno, za postizanje konačne čvrstoće i tvrdoće proizvoda.



***Slika 2. Čelični liv nakon 12 sati termičke obrade na temperaturi od 1200 $^0$C***

Termička obrada čelika temelji se na eutektoidnoj reakciji raspada austenita na ferit i cementit. Ovisno o postupku termičke obrade mijenjaju se način raspada austenita, odnosno fizička i mehanička svojstva čelika. Zbog toga svaka termička obrada zahtijeva najprije dobivanje austenita. **Austenitizacija** se sastoji u dobivanju homogenog austenita zagrijavanjem čelika na temperaturu malo iznad linije $A_1$ kod

eutektoidnog sastava ili $A_3$ kod podeutektoidnog i $A_{cm}$ kod nadeutektoidnog sastava. Temperatura austenitizacije može se sniziti dodatkom legirajućih elemenata kao što su mangan ili nikal. Ostale termičke obrade služe uglavnom za uklanjanje posljedica hladne deformacije i dobivanje mekše strukture.

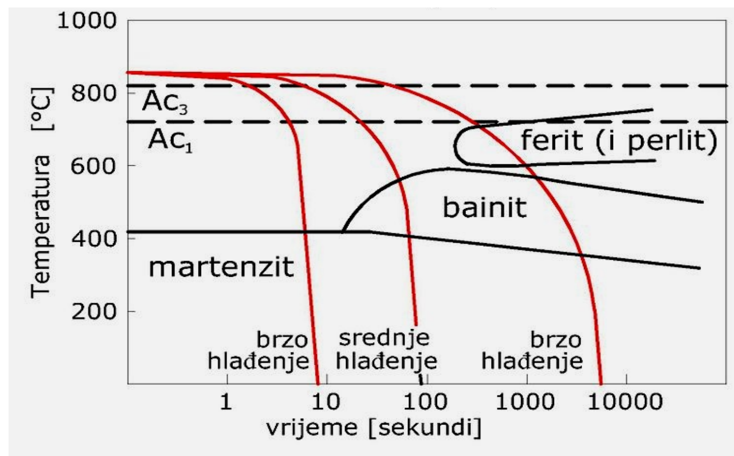
## 1.2. Fizičke osnove termičke obrade

Kod većine važnijih postupaka termičke obrade, čelik se zagrijava na temperaturu pri kojoj je mikrostruktura austenitna ili se sastoji od austenita s malim udjelom drugih mikrostrukturnih sastojaka, na primjer karbida (cementit). To je temperatura austenitizacije ili se pak naziva prema vrsti termičke obrade, na primjer temperatura normalizacije. Za većinu postupaka termičkih obrada austenit je središnja, najvažnija mikrostruktura iz koje se nakon različitih pretvaranja postižu mikrostrukture koje su postojane na sobnoj temperaturi ili pri povišenim temperaturama i o kojima ovise svojstva čelika. Pretvaranja austenita provode se izotermno ili pri ohlađivanju.

Brzine pretvaranja austenita i nastale nove faze ili mikrostrukturne sastojke čelika opisuju dijagrami izotermnog pretvaranja ili izotermni TTT dijagrami (eng. Time-temperature transformation), koji vrijede za izotermna pretvaranja (nazivaju se i IT dijagrami), te dijagrami kontinuiranog hlađenja ili CTT dijagrami, koji vrijede pri kontinuiranom hlađenju, slika 3. Način i kinetika pretvaranja austenita ovise o hemijskom sastavu čelika, odnosno austenita i brzini ohlađivanja, odnosno temperaturi pretvaranja.

Kod ugljičnih čelika, austenit se pretvara u perlit od temperature od oko 723 ºC do temperature od približno 500 ºC, ispod te temperature do 250 ºC, ali samo pri izotermnoj transformaciji, nastaje binit, a ispod 250 ºC nastaje martenzit.

Mehanička i tehnološka svojstva čelika s perlitnom mikrostrukturom ovise o debljini lamela cementita, odnosno o tzv. Međulamelarnomrastojanju. Što je on manji, to su viša mehanička svojstva i duktilnost, a za rezivost (obradivost) vrijedi obrnuto. Perlit koji nastaje pri višim temperaturama (blizu 700 ºC) je grubolamelaran, a onaj koji nastaje kod donje granice ima malo međulamelarno rastojanje (sitnolamelarni ili finilamelarni perlit). Svojstva martenzita i beinita ovise o masenom udjelu ugljika u čeliku. To posebno vrijedi za martenzit koji postiže najveću tvrdoću (oko 65 HRC) kad je udio ugljika oko 0,6%. Martenzit kod koga je udio ugljika malen, npr. 0,1%, ima mnogo manju tvrdoću (oko 37 HRC). S povišenjem temperature, nastale mikrostrukturne komponente se počinju mijenjati. To se najviše opaža kod martenzita, gdje promjene počinju već pri temperaturama između 100ºC i 200ºC i postaju očitije s povišenjem temperature prema temperaturi $Ac_1$ (popuštanje čelika).

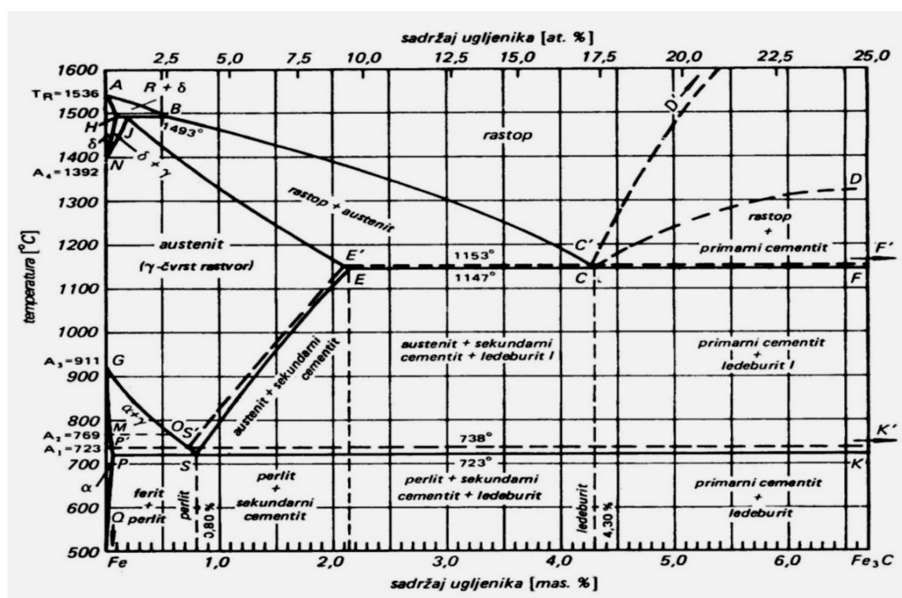



***Slika 3. Dijagram kontinuiranog (CCT) hlađenja za čelik koji prikazuje uslove za stvaranje martenzita***

## 1.3. Dijagram stanja Fe –$Fe_3C$ kao osnova termičke obrade

Za razmatranje procesa koji se javljaju pri termičkoj obradi i konstruisanje konkretnih dijagrama termičke obrade pojedinih čelika podatke nalazimo u dijagramu Fe –$Fe_3C$, koji ipak predstavlja samo osnovu za izučavanje postupaka termičke obrade. U praksi se ovaj dijagram primjenjuje imajući u vidu da:

- pokazuje samo idealni slučaj legure željezo – ugljik, a ne uzima u obzir ostale legirajuće i prateće elemente u čeliku i gvožđu. Iz ovog razloga bilo bi potrebno napraviti dijagram za svaku leguru posebno,
- pokazuje samo stanje ravnoteže, a ne stanje van ravnoteže kakvo se koristi u praksi termičke obrade,
- ne uzima u obzir kao faktor vrijeme, odnosno brzinu zagrijavanja i hlađenja koje su u praksi termičke obrade osnovnog značaja.



*Slika 4. Dijagram stanja Fe-$Fe_3C$*

***Prema: M.G.Benz; J.F.Elliot, Trans,. AIME 221(1961); R.A.Bucley, W.Hume-Rothery, Trans. AIME 224(19629***

Transformacija austenita pri laganom hlađenju npr. eutektoidnog čelika odvija se u tri faze:

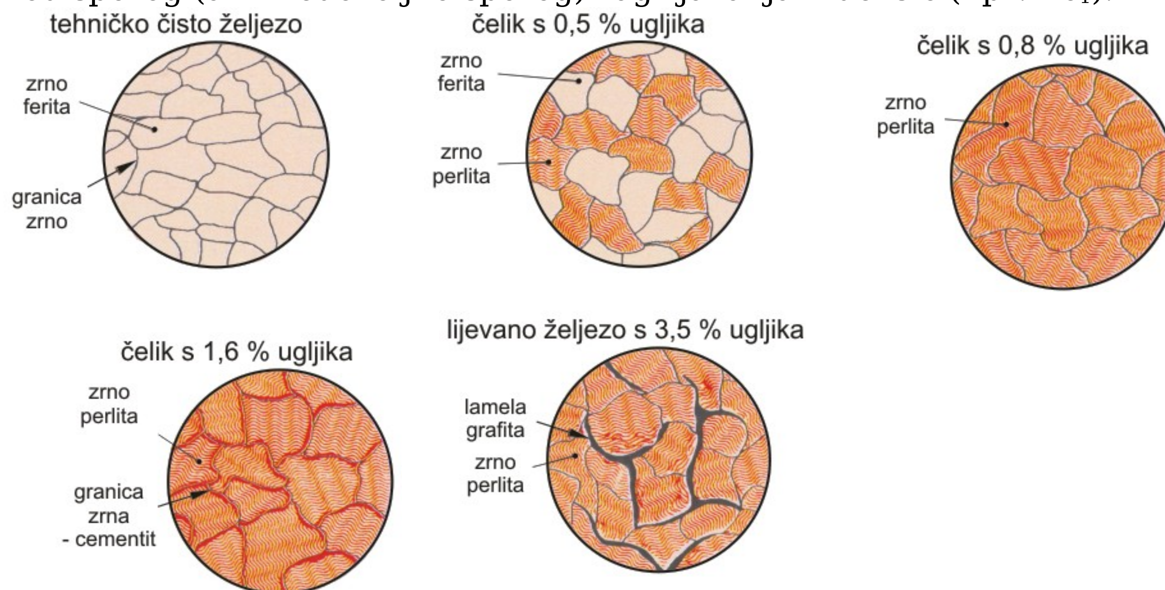
1. Pregrupisavanja atoma iz površinski centrirane kubne rešetke $\gamma - ¿$željeza u prostorno centriranu kubnu rešetku $\alpha$ - željeza sa istovremenim uključivanjem atoma ugljika iz $\gamma - ¿$ željeza u $\alpha - ¿$ željezo;
2. Izdvajanja atoma ugljika u vidu cementita koji služe kao centri sekundarne kristalizacije pri daljnjoj izgradnji perlitnog zrna.
3. Stvaranja krupnih kristala (lamela) cementita daljim izlučivanjem ugljika iz austenitnog zrna i njegovim slaganjem na cementit nastao u drugoj fazi (2). Smanjenjem koncentracije ugljika u $\gamma$- željezu nastaju lamele ferita koje se smještaju između već obrazovanog cementita, te na taj način nastaje struktura perlita.

Dijagram stanja željezo-ugljik (slika 4) obuhvata legure koje sadrže od 0% do 6,67% C- čelik i gvožđa. Pri sadržaju od 6,67% C obrazuje se hemijsko jedinjenje $Fe_3C$ (cementit). Dio dijagrama predstavljen punim linijama (do 6,67% C) naziva se metastabilnim dijagramom željezo-ugljik (Fe-$Fe_3C$). Dijagram predstavljen isprekidanim linijama naziva se stabilnim dijagramom željezo-ugljik (Fe-C). Legure željeza sa ugljikom do približno 2,0% nazivaju se čelicima, a preko 2,0% C gvožđem.

## 1.4. Osnovni mehanizam procesa termičke obrade

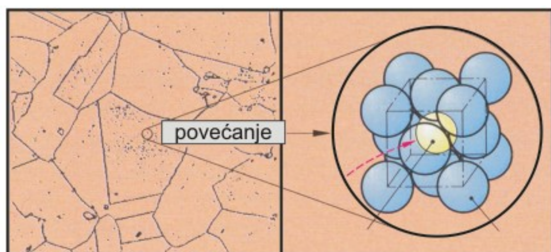
Termička obrada čelika temelji se na eutektoidnoj reakciji raspada austenita na ferit i cementit. Ovisno o postupku termičke obrade mijenja se način raspada austenita, odnosno fizička i mehanička svojstva čelika. Zbog toga svaka termička obrada zahtijeva najprije dobivanje austenita.
Temperature faznih prelaza za legure željeza kao i za čisto željezo, označavamo sa slovom A i odgovarajućim indeksom: $A_1$ je oznaka za liniju temperature eutektoidne reakcije; $A_2$ za Curievu temperaturu (768 ºC); $A_3$ za temperature prelaza alfa (α) u gama (γ) kristale, $A_4$ za temperaturu prelaza gama (γ) u delta (kristale i $A_{cm}$ za temperaturu početka izlučivanja sekundarnog cementita ($Fe_3C$"). Kada bi hlađenje i grijanje mogli provesti beskonačno sporo navedene temperature bile bi jednake za oba procesa. Ukoliko se temperatura mijenja praktičnom ili konačnom brzinom nastaje mjerljivo kašnjenje faznih prelaza. To znači da se čelik mora zagrijati na nešto višu temperaturu, odnosno ohladiti na nešto nižu temperaturu od one koja odgovara ravnotežnoj temperaturi. Da bi se razlikovale

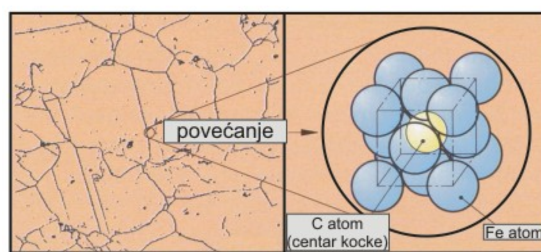
temperature faznih prelaza kod sporog (ali i nedovoljno sporog) hlađenja, uz oznaku temperature fazne promjene dodaje se indeks r (npr. $Ar_1$), a kod sporog (ali i nedovoljno sporog) zagrijavanja indeks c (npr. $Ac_1$).

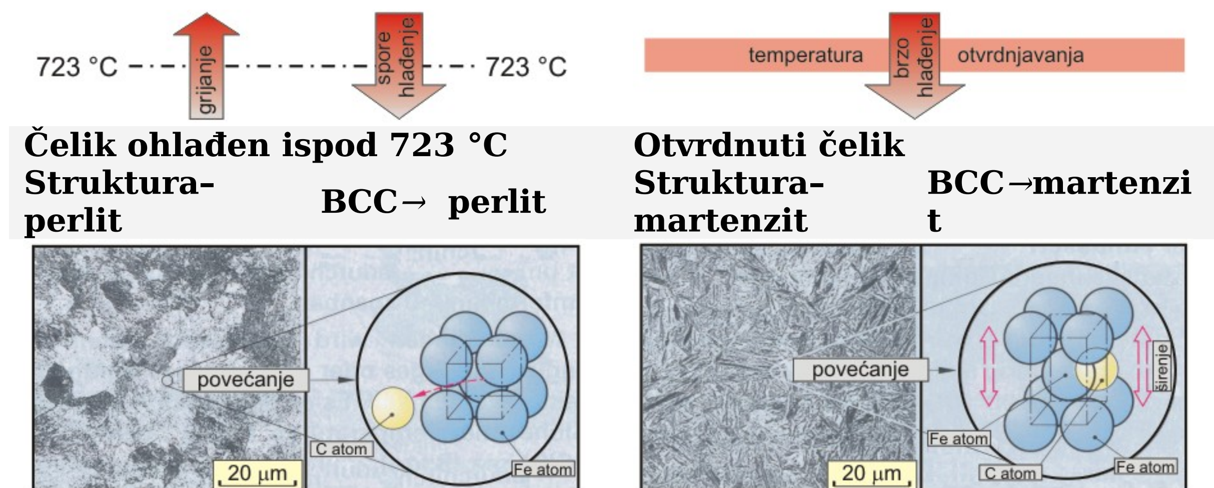



***Slika 6. Promjena sastava mikrostrukture čelika sa porastom ugljika [% C]***

| **Čelik sa 0,8 %, t > 723 °C** | | **Čelik ugrijan na temperaturu otvrdnjavanja** | |
|---|---|---|---|
| **Građa – austenit** | **FCC – austenit** | **Građa – austenit** | **FCC – austenit** |






***Slika 7. Neravnotežna transformacija austenita u martenzit***

Na slici 7 je prikazana martenzitna transformacija – pri neravnotežnoj transformaciji austenita, u uslovima brzog hlađenja, kada u kristalnoj rešetki željeza ostaju zarobljeni atomi ugljika i formiraju se kristali martenzita.

## 2. SAVREMENI UREĐAJI I OPREMA ZA IZVOĐENJE TERMIČKE OBRADE

Intezivan razvoj i usavršavanje postupaka termičke obrade nametnulo je potrebu uvođenja novih i savremenijih uređaja, opreme i pogona kao i metoda ispitivanja kvaliteta termički obrađenih komada, koji treba da obezbijede izvođenje postupaka termičke obrade brzo, često kontinuirano, u uslovima kontinuiranog rada. Pogoni za termičku obradu imaju neka osnovna sredstva za izvođenje proizvodnje. Svakako se među najvažnija ubrajaju različite peći za zagrijavanje kod termičke obrade. Pored peći, upotrebljavaju se i pojedini posebni uređaji i postrojenja za termičku obradu, pomoćna oprema i oprema za mjerenje i regulaciju temperature i kontrolu mehaničkih svojstava dijelova, a konačno i uređaji i pribor za zaštitu radne snage. Ovdje je cilj da se prikaže široka primjena

određenih pogona, uređaja i opreme za termičku obradu, kao i podjele pogona, uređaja i opreme i njihovu upotrebu u različitim oblastima termičke obrade.

## 2.1. Klasifikacija pogona za termičku obradu

Pogoni za termičku obradu organiziraju se:

1) po struci: metalurški i pogoni u industriji prerade metala,
2) po tipu proizvodnje: masovni, serijski pogoni i pogoni za individualnu proizvodnju,
3) po karakteru obrađivanog metala:za proizvode crne i obojene metalurgije
4) po fazi u proizvodnji: za obradu poluproizvoda, gotovih proizvoda i pojedinih dijelova,
5) po postupcima obrade: za žarenje, kaljenje, cementiranje, cijanizaciju i karbonitriranje, nitriranje i drugo.

Pogone termičke obrade dijelimo na:

1) osnovne
2) pomoćne
3) miješane.

**Osnovni pogoni** termički obrađuju dijelove za tržište. Dijele se na:

- pogone termičke obrade u preduzećima za opskrbu,
- pogone termičke obrade u prerađivačkim preduzećima i
- kombinirane pogone za obradu dijelova u preduzećima za preradu i opskrbu.

**Pomoćni pogoni** termički obrađuju alate, kalupe i matrice, dijelove za održavanje i ostale dijelove koji su potrebni u nekoj tvornici. Ovi pogoni se dijele na:

- kalionice u alatnicama, mehaničkim radionicama i kovačnicama,
- kalionice u pogonima za održavanje i
- mješovite kalionice, koje obrađuju za alatnice, kovačnice i za održavanje.

**Miješani pogoni** u organizacionom i tehnološkom pogledu predstavljaju samostalne proizvodne jedinice u preduzećima. U ovakvim pogonima se termički obrađuje za osnovnu i pomoćnu proizvodnju u obliku gotovih proizvoda, poluproizvoda i dijelova za sve pogone u preduzeću.

**U zavisnosti od kombiniranja uređaja za termičku obradu, pogoni se formiraju:**

a) prema karakteru postupaka,
b) prema vrsti proizvoda,
c) prema grupama jednotipskih uređaja,
d) prema mješovitom principu.

**Prema karakteru postupaka**, uređaji se mogu rasporediti u grupe za pojedine vrste ili grupe postupaka: grupa za naugljičavanje, grupa za kaljenje naugljičenih dijelova. Ovakav princip formiranja upotrebljava se u individualnoj i maloserijskoj proizvodnji. Određene vrste postupaka (postupci u cijanidnim kupkama, pjeskarenje i slično) izvode se u odvojenim prostorijama s ventilacijom.

**Dobre strane** formiranja uređaja prema izvođenim postupcima su:
- bolje iskorištavanje uređaja – uređaji mogu biti specijalizirani prema temperaturnim intervalima, prema trajanju postupka i drugo,
- lakša zamjenjivost prilikom opravaka,
- bolja specijalizacija kadrova: majstor i vođa grupa uređaja imaju mogućnost svestrane studije istih i slično.

**Slabe strane**:
- teritorijalna rasturenost tehnoloških operacija prouzrokuje zastoje u proizvodnom procesu i produžuje proizvodni ciklus,
- povećava broj međuoperacionih skladišta i transportnih sredstava, pomoćne radne snage i proizvodnih površina.

**Za formiranje uređaja prema vrsti proizvoda** je tipično da u uređaji za sve operacije termičke obrade određenih proizvoda raspoređeni po redoslijedu izvođenja postupaka i da su koncentrirani na jednom mjestu. Oni mogu biti formirani po grupama:

- za obradu kompliciranijih, odgovornijih i kvalitetnijih dijelova,
- za obradu dijelova određene veličine i mase i
- za obradu dijelova, izrađenih od određenog čelika.

Ovaj princip formiranja izvodi se uglavnom za velikoserijsku i masovnu proizvodnju.

**Dobre strane su**:

- mnogo kraće vrijeme zadržavanja dijelova u proizvodnom procesu, što znači skraćenje proizvodnog ciklusa i smanjenje količine polugotove proizvodnje,
- između pojedinih operacija procesa postoji uža veza: ovo omogućuje kompleksnije rješavanje tehnoloških i organizacionih zadataka u cilju povećanja efikasnosti tehnološkog procesa,
- povećanje odgovornosti za kvalitet proizvodnje,
- stvaranje boljih uslova (uvjeta) za brže otklanjanje pojedinih grešaka u proizvodnji, na primjer defekti, koji se javljaju u bilo kojoj operaciji, mogu se otkloniti odmah u narednoj operaciji.

**Formiranje po grupama jednotipnih uređaja** omogućeno je prema specifičnim svojstvima uređaja ili prema potrebama za zgradama i pomoćnim postrojenjima za eksploataciju ovih uređaja: visina zgrade, dubina kanala, nosivost kranova, i slično.

**Formiranje po mješovitom principu** karakterizira komponiranje proizvodnih odjeljenja istovremeno po karakteru postupaka i vrsti proizvoda.

## 2.2. Klasifikacija uređaja i opreme za termičku obradu

U narednom tekstu bit će najprije prikazana opšta klasifikacija uređaja i opreme za termičku obradu.

Opća klasifikacija uređaja je:

1) Osnovni uređaji,
2) Dopunski uređaji,
3) Pomoćni uređaji,
4) Ostali uređaji.

### 2.2.1. Osnovni uređaji

**a) Uređaji za zagrijavanje:**

Peći (s mehanizacijom i kontrolno – mjernim aparatima).
Kupke (s mehanizacijom i kontrolno – mjernim aparatima).
Uređaji za zagrijavanje :
- visokofrekventni,
- elektrolitski,
- elektrokontaktni,
- plameni.

**b) Uređaji za ohlađivanje:**

Komore za hlađenje zrakom:
- zagrijavane,
- nezagrijavane (izolirane).

Kupke (tekuće sredstvo):
- uljne,
- vodene,
- s rastopima.

Kupke (zagrijavane) za izotermno ohlađivanje:
- uljne,
- solne,

- metalne.

Ohlađivanje tušem ili puhanjem:
- tekućinom,
- zrakom,
- kombinirano.

Uređaji za ohlađivanje i otklanjanje deformacija:
- prese i strojevi za ohlađivanje zrakom ili tekućinom.

Uređaji za ohlađivanje relativnim kretanjem sredstva za hlađenje ili predmeta koji se kali.

Uređaji za hlađenje do niskih temperature.

**c) Uređaji u kojima je omogućeno zagrijavanje i ohlađivanje:**
- uređaji za kaljenje, normaliziranje, gašenje i slično.

**2.2.2 Dopunski uređaji (za izvođenje dopunskih operacija)**

**a) Uređaji za čišćenje proizvoda:**
- uređaji i kupke za nagrizanje i luženje,
- uređaji i kupke za pranje,
- uređaji za pjeskarenje,
- kupke, generatori i slično.

**b) Uređaji za galvansku zaštitu dijelova pri hemijskoj termičkoj obradi**

**c) Uređaji za ravnanje:**
- prese, strojevi i drugi uređaji za ravnanje,
- uređaji za mjerenje deformacija.

**d) Uređaji za kontrolu kvaliteta proizvoda:**
- uređaji i aparati za mjerenje tvrdoće, kontrolu fizikalnih i mehaničkih svojstava, mikroskopi, defektoskopi i drugo.

**3) Pomoćni uređaji:**

**a) Uređaji za pripremu određenih atmosfera:**
Uređaji za pripremu plinovitog i čvrstog karbonizatora:
- gasogeneratori i mješalice.

Uređaji za pripremu zaštitnih plinova i atmosfera:
- gasogeneratori: endo, egzo, monogeneratori.

**b) Uređaji za skladištenje i razvod amonijaka:**
- baloni, boce, cisterne, sprave za razvod.

**4)Ostali uređaji:**

**a) Termoenergetski uređaji:**

Ventilatori, kompresori, kaloriferi, pumpe i drugo.
Cjevovodi za ulja,  mazut, vodu i drugo.
Električna mreža, transformatori, pretvarači, motori i drugo.
Uređaji za hlađenje ulja, filteri, taložnici i drugo.

**b) Uređaji za dizanje i transport:**

Kranovi, dizalice.
Konvejeri, valjci, elektro i autokari, kolica i drugo.
Pokretne sprave za potapanje i iznošenje dijelova.

**c) Kontrolno-mjerni aparati.**

Pirometri, termoelementi, termometri, precizne sprave i drugo.

**5. Kontinuirane linije sastoje se iz sljedećih uređaja:**

a) Kontinuirani automati, agregati i postrojenja.
b) Kombinirane ili  specijalizirane linije.
c) Kontinuirane linije opšte-tvorničkog značaja, u kojima su sprave za termičku obradu smještene u sklopu sprava za ostale postupke i operacije u proizvodnji.

## 2.3. Klasifikacija peći za termičku obradu

Najvažnija namjena peći za termičku obradu je osiguravanje ravnomjernog zagrijavanja. Njihova konstrukcija mora odgovarati navedenim zahtjevima. Peći za termičku obradu moguće je klasificirati s obzirom na tehnološke i ostale specifičnosti.

Dijele  se na:

a) univerzalne peći i uređaje za izvođenje raznih operacija termičke obrade, sprecijalizirane peći i uređaje za izvođenje određenih operacija termičke obrade (žarenje, cementacija i drugo),
b) specijalne peći za termičku obradu određenih proizvoda,
c) kontinuirane linije za izvođenje različitih operacija termičke obrade.

Prema radnim temperaturama, dijele se na:

a) visokotemperaturne,
b) srednjetemperaturne,
c) niskotemperaturne,
d) upotrebljive za razne temperature.

Prema namjeni peći se dijele na:

1) peći za predgrijavanje, za radne temperature do 250$^0$C,
2) peći za popuštanje i žarenje, za radne temperature od 150$^0$C do 750$^0$C,
3) peći za kaljenje i cementaciju alatnih i konstrukcionih čelika, za radne temperature od 600$^0$C do 1000$^0$C,
4) peći za kaljenje čelika za vrući rad i brzoreznih čelika, za radne temperature do 1300$^0$ C.

S obzirom na radno sredstvo peći se dijele na:

a) peći s plinskim sredstvom-obični ili kontrolirani plinovi
- inertni ili aktivni plinovi (toplina prelazi na dijelove konvekcijom i zračenjem),

b) peći s tekućim sredstvom-kupke, neutralne ili aktivne (toplina prelazi na dijelove samo provođenjem).

Prema karakteru šaržiranja, dešaržiranja i prema načinu polaganja dijelova u peć, peći se dijele na:

1) horizontalne sa šaržiranjem kroz krajnji otvor, peći sa stabilnim podom ili sa stabilnim svodom, peći s pokretnim podom, s trakama, konvejerima i slično,
2) vertikalne (jamske, šahtne, kupke, pokrovne peći, peći s razdvojivim poklopcem i sl.),
3) nagnute (s nagibnim retortama ili žljebovima, valjcima, pulzatorima i slično) i
4) kombinirane peći.

Za termičku obradu je od bitne važnosti režim rada i mehanizacija, te na koji način se peći opslužuju.

Tabela 2. prikazuje šematsku podjelu peći na dvije glavne grupe:

1) peći za periodički rad – dijelovi se termički obrađuju u šaržama.

Šaržiranje je ručno, kranom, valjcima, vagonetima, pokretnim podom i slično.

2) Peći za kontinuirani rad – dijelovi se termički obrađuju neprekidno za vrijeme putovanja kroz peć.

<u>Posmak u ovim pećima može biti:</u>

-pulzirajući (potisne, koračne, vibracione i slične peći),
-kontinuirani (konvejerske protočne peći, peći za žicu ili šipke, peći s povratnim podom i slične).

***Tabela 2. Šematska podjela peći***

| **NEPOKRETNA PEĆ** | | | **POKRETNA PEĆ** | |
|---|---|---|---|---|
| **Nepokretni pod** | | **Pokretni pod ili vješalice** | **Nepokretni pod** | **Pokretni pod** |
| **Periodični rad** | Komorna peć<br><br>Dubinska peć<br><br>Koritasta peć | Peć s izvoznim podom<br><br>Jamska peć<br>Peć sa spuštanjem poda<br><br>Lončana peć | Pokrovna peć | Obrtna komorna peć (s retortom- dobošna peć) |
| **Kontinuirani** | Potisna peć<br><br>Peć, kroz koju se dijelovi kotrljaju ili se vuku | Kontinuirana peć s valjcima ili trakama<br><br>Peć s okretnim ili pokretnim podom ili žlijebom<br>Tunelska peć | Specijalna postrojenja za dugačke dijelove | Obrtna cijevna ili retortna peć |

## 2.4. Postrojenja

**Postrojenje** čini jedna ili više peći, jedna ili više kada za kaljenje te uređaj za manipulaciju šaržom.

Uređaj za manipulaciju šaržom može biti pokretan po jednoj, dvije ili tri ose, a prema načinu upravljanja sa svim kretnjama postrojenje može biti:
- ručno,
- poluautomatsko,
- automatsko (sve kretnje su unaprijed programirane po vremenskom dijagramu).

### 2.4.1. Automatsko postrojenje jamskih peći za termohemijske obrade

Postrojenje električnih jamskih peći za termohemijske obrade, slika 8, izvedeno je kao niz peći i pratećih uređaja formiranih u tehnološku liniju, koja pokriva termičke obrade za široki izbor konstrukcijskih čelika i postupaka koje zahtijeva moderna industrija, a vođenje procesa je automatizirano.

Glavne komponente postrojenja su peć za termičke obrade u kontroliranoj atmosferi (750 $^0$C-1000$^0$C), peć za popuštanje i nitriranje (do 750 C), kada za kaljenje u ulju, kada za kaljenje u vodi, praonica i jama za hlađenje.

Svi procesi se odvijaju u hermetički zatvorenoj retorti uz snažnu cirkulaciju zaštitnog plina koju ostvaruje ventilator u poklopcu retorte.

Predmeti za termohemijsku obradu se stavljaju na šaržer koji se može prilagoditi raznim oblicima tako da je popunjenost retorte optimalna.

Peć je izrađena od laganih vatrostalnih i izolacionih materijala tako da je vrlo fleksibilna u pogledu brzine zagrijavanja i hlađenja, a termički gubici su svedeni na optimalnu mjeru. Peć posjeduje vlastiti hidraulički uređaj za podizanje poklopca retorte. Retorta je izrađena od vatrostalnog čelika i na gornjem dijelu ima prirubnicu sa brtvom na koju se pričvršćuje poklopac. U retortu je uložen zrakovod za usmjeravanje cirkulacije pećne atmosfere.

Kade za kaljenje u ulju i vodi su principijelno iste: posjeduju pumpe za snažnu cirkulaciju medija, električne grijače za dovođenje medija na radnu temperaturu, kao i izmjenjivač za hlađenje medija nakon kaljenja.

Praonica je opremljena visokotlačnom pumpom koja potiskuje medij za pranje kroz sapnice koje jednoliko okružuju radni prostor i time peru obratke.



***Slika 8. Automatsko postrojenje jamskih peći za termohemijske obrade***

### 2.4.2. Postrojenje komornih peći

Postrojenje komornih peći, slika 9, izvedeno je kao niz komornih peći ispred kojih su, ispod kote nula, smještene kade za kaljenje u ulju i vodi. Ispred komornih peći tračnicama se kreće manipulator koji omogućuje prijenos obrađivanog materijala. Moguće je vršiti raspon termičkih obrada:

- poboljšavanje,
- normalizacija,
- meko žarenje,
- kaljenje austenitnih i alatnih čelika.

Moguće je istovremeno vršiti više različitih programa kada se u postrojenju nalazi više komornih peći i više kada za kaljenje.Tehnološki parametri, temperatura u pećima, temperatura ulja i vode u kadama za kaljenje, brzina i vrijeme zagrijavanja i hlađenja su podesivi na upravljačkom uređaju. Regulacija temperature svake peći je automatska – programska, a zapisivanje temperature vrše digitalni pisači.

Kade za kaljenje su opremljene snažnim centrifugalnim pumpama za intenzivnu cirkulaciju rashladnog sredstva. Hlađenje sredstva za kaljenje u kadama se izvodi putem izmjenjivača toplote, kroz koji struji voda spojena na zatvoren rashladni sistem. Kade su opremljene zrakovodima za odvod plinova i para za vrijeme kaljenja. Kada za ulje je zaštićena poluatomatskom $CO_2$ zaštitom od požara. Nadopunjavanje vode, odnosno ulja u kade je automatsko, a zagrijavanje ulja na radnu temperaturu provedeno je električnim cijevnim grijačima. Kade za kaljenje prekrivene su pomičnim poklopcem s automatskim pokretanjem.

Zagrijavanje u pećima izvedi se pomoću spiralnih grijača. Otvaranje i zatvaranje vrata je sistem ostvaren hidrauličkim cilindrima. Iznad vrata peći postavljene su haube spojene na sistem za isisavanje vrućeg zraka i dimova kod otvaranja vrata. Posluživanje peći i kada je izvedeno hidrauličkim manipulatorom. Postrojenje može raditi u ručnom, poluautomatskom i automatskom režimu rada.



***Slika 9. Postrojenje velikih komornih peći***

### 2.4.3. Automatsko prolazno postrojenje za termičku obradu

Automatsko prolazno postrojenje, slika 10, sastavljeno je iz osnovnih tehnoloških jedinica koje su međusobno povezane transportnim i programskim sistemom koji omogućuje unaprijed programiran automatski rad.
Postrojenje ima dva osnovna programa automatskog rada i to: program poboljšavanja i program mekog žarenja.

Osnovne tehnološke jedinice su:

- peć više temperature (950°C),
- kada za kaljenje (ulje ili voda+polimerno sredstvo),
- komora za pranje špricanjem (sa ili bez potapanja),
- komora za sušenje,
- peć niže temperature (750°C),
- komora za hlađenje,
- ventilacija.
-

Transportni sistem čine:
- šaržirno dešaržirni stol,
- ulazni stolovi peći više i niže temperature,
- poprečni transporter od kade za kaljenje do ulaznog stola peći niže temperature,
- uređaj za vađenje košara iz peći više temperature i njihov transport do kade za kaljenje,
- uređaj za spuštanje i dizanje košara iz kade za kaljenje,
- šaržirna korpa (košara).

Svi dijelovi transportnog sistema kao i otvaranje vrata realizirani su posredstvom hidrauličkih izvršnih elemenata. Transport košara kroz postrojenje izveden je u taktovima, a vrijeme takta kao i vrijeme zadržavanja šarže u kadi za kaljenje može se programirati. Programski system osigurava automatski transport košara kroz postrojenje kao i održavanje svih tehnoloških parametara kao što su:

-temperatura peći - više temperature (po zonama),
-temperatura peći - niže temperature (po zonama),
-temperatura sredstva u kadi za kaljenje,
-temperatura sredstva za pranje,
-temperatura zraka u sušari,
-nivo sredstva za pranje,
-po izboru kupca ugrađuje se registracija (zapisivanje) tehnoloških parametara.

Registracija je u elektronskom obliku i može se prenijeti na računar.



***Slika 10. Automatsko prolazno postrojenje za termičku obradu***

Na osnovu do sada postignutih rezultata zaključeno je da je nezamislivo vršiti savremenu proizvodnju bez postupaka termičke obrade; dok klasični pogoni za termičku obradu nestaju, nasuprot, sve više i više se upotrebljavaju savremniji pogoni za izvođenje termičke obrade. Danas se u savremenim pogonima za termičku obradu primjenjuju najbolje raspoložive tehnologije i strogi propisi vezani za izvođenje termičke obrade.

## 3. SAVREMENE PEĆI ZATERMIČKU OBRADU

Peći za termičku obradu ili žarenje su zatvoreni prostor u kojem se cijeli objekt ili radni komad kontrolirano zagrijava i hladi, odnosno žari. Izvedbe mogu biti zidane, obložene šamotom ili od čelične konstrukcije obložene izolacijskim materijalom, u cijelom komadu ili od montažnih dijelova. Grijanje u pećima najčešće je izvedeno pomoću elektrootpornih grijnih tijela ili plinskog plamena. Ove peći se obično grade u velikim dimenzijama, pa su zato skupe, jer je teško predvidjeti veličine komada koji će se u njoj zagrijavati. Općeprihvaćeno je da je termička obrada cijelog radnog komada u peći za termičku obradu bolje rješenje od lokalne termičke obrade područja radnog komada. Ponekad je u propisima eksplicitno navedeno da se zahtijeva zagrijavanje cijelog radnog komada. Efekat zagrijavanja u peći može se postići posebnim oblaganjem i stvaranjem uvjeta kao da se žari u peći. To je skuplje nego obrada u pećima, ali je jeftinije od njene gradnje, pa ako se zna da peć neće biti dovoljno iskorištena, poželjniji je način oblaganja komada i žarenja bez peći.

Za izvođenje postupaka termičke obrade koriste se peći za zagrijavanje, postrojenja za hlađenje kao i pomoćna oprema. Peći koje se koriste u termičkoj obradi dijele se prema različitim kriterijumima (vidjeti poglavlje 2.), a jedna od najvažnijih podjela je prema konstrukciji peći (tabela 2).

### 3.1. Tipovi komornih vakumskih peći

Jedan od najmodernijih načina termičke obrade jest onaj u vakuumu, koji se odvija u posebnim vakuumskim pećima, slika 11, u kojima je uobičajeni pritisak oko 1 mbar. Kao sredstvo za gašenje se koriste inertni plinovi

(dušik, helijum, argon, vodik...) koje unosimo u vakuumsku komoru s nadpritiskom.

Najveća prednost navedenih peći je površina koja nema uključaka i oksida nakon postupka termičke obrade. Zbog malih promjena mjera i iskrivljenja najpogodnija je za obradu visokolegiranih čelika. U ovome poglavlju su opisane moguće izvedbe vakuumskih peći i način na koji one rade.

- **Jednokomorna vakuumska peć** prikazana je na slici 11.

➢uobičajeni $p > 10^{-4}$ mbara,

➢"stupanj propusnosti peći" (mbar·l/s)

($< 1 \cdot 10^{-3}$ mbar l / s)

Mjerno-regulacijski sustav

Vakuumske pumpe

| Vrsta vakuuma | p, mbar | Primjena kod toplinske obrade: |
|---|---|---|
| Grubi vakuum | 1000 ... 1 | - nelegirani čelici (kaljenje, cementiranje) |
| Srednji vakuum | 1 .... $10^{-3}$ | - legirani alatni čelici<br>- nehrđajući čelici (osim legiranih Ti) |
| Fini vakuum | $10^{-3}$ .... $10^{-6}$ | -nehrđajući čelici (legirani Ti)<br>-alati prevučeni CVD prevlakama |

***Slika11. Jednokomorna vakumska peć***

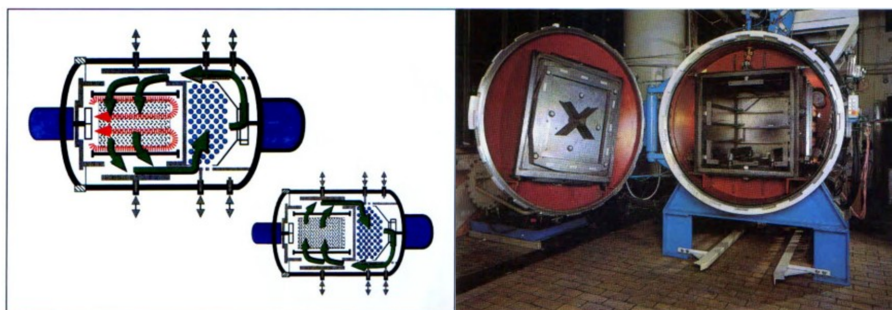
Na tržištu opreme za termičku obradu se nude komorne vakuumske peći po jednom od dva
koncepta:

- Komorna vakuumska peć sa **komorom kubnog oblika** za zagrijavanje grijačima na podu i plafonu komore, sa ili bez grijača na bočnim zidovima.

- Vakuumska komorna peć sa **horizontalnom cilindričnom komorom** za zagrijavanje sa
grijačima po obimu i mlaznicama za upuhivanje gasa, takodje smještenim po obimu.

- **Komorna vakuumska peć sa komorom kubnog presjeka**

Vakuumske peći po oba koncepta mogu biti konvektivno zagrijavane. U slučaju peći po prvom konceptu, je neophodno da peć ima dva uređaja za miješanje gasa.

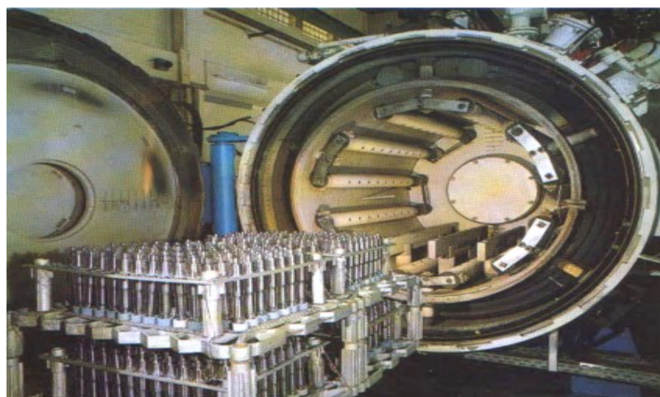


***Slika 12. Izgled jedne vakuumske peći sa komorom kubnog oblika***

Koncepcija komorne vakuumske peći sa „kubusnom“ komorom prikazana je na slici 12. U vratima je ugrađen sistem za miješanje vrelog gasa. Sastoji se od jednog elektromotora zaptivenog prema vakuumskoj strani i ventilatora za miješanje gasa sa propelerom izrađenim od grafita pojačanog karbonskim vlaknima (CFC). Rukavac vratila elektromotora, takođe izrađen od CFC, prolazi kroz izolaciju vrata i pogoni propeler mješača gasa. Miješanjem velike količine gasa garantuje se dobra ravnomjernost temperature u komori.

- **Komorna vakuumska peć sa horizontalnom cilindričnom komorom**

Horizontalne jednokomorne peći s prednjim punjenjem jedan su od najčešćih oblika vakuumskih peći prisutnih u upotrebi. Za njihovo punjenje uglavnom se koriste viličari, a veličine obrađivanih predmeta variraju od malih, koji su ili stegnuti ili utovareni u košarama, pa sve do predmeta velikih dimenzija kao što su zupčanici korišteni za motore brodova te plinske turbine. Generalno gledajući, horizontalne jednokomorne peći imaju više manje jednostavnu konstrukciju, jeftinije su te vrlo fleksibilne u smislu proizvodnje, ali se u masovnoj proizvodnji obično upotrebljavaju drugi oblici vakuumskih peći.



***Slika 13. Izgled jedne vakuumske peći sa horizontalnom cilindričnom komorom***

### 3.1.1. Karakterisitke vakuuma

Termička obrada u vakumskim pećima provodi se u visokospecijaliziranim pećima u kojima pomoću različitih pumpi postižemo vakuum. Svaka vakuumska peć može imati nekoliko vakuumskih pumpi. Veličina vakuuma koje one ostvaruju je najčešće $10^{-3}$ do $10^{-5}$ bara, a vakuum koji je moguće postići je i do $10^{-6}$ bara.Vakuum služi kao zaštitna atmosfera u procesu termičke obrade. Uklanjanjem zraka iz komore za toplinsku obradu omogućujemo obradu predmeta bez oksidacije površine i razgradnju postojećih oksida. Obratci ostaju metalno svijetli i nakon termičke obrade.

U tabeli 3 prikazana je podjela „vakuuma“ u tri grupe. To su grubi vakuum, srednji vakuum i fini vakuum. Grubi vakuum se koristi prilikom termičke obrade nelegiranih čelika. Srednji vakuum se koristi za termičku obradu legiranih alatnih čelika i nehrđajućih čelika, a fini vakuum se koristi za termičku obradu nehrđajućih čelika, koji su legirani titanom i alata prevučenih CVD prevlakama.

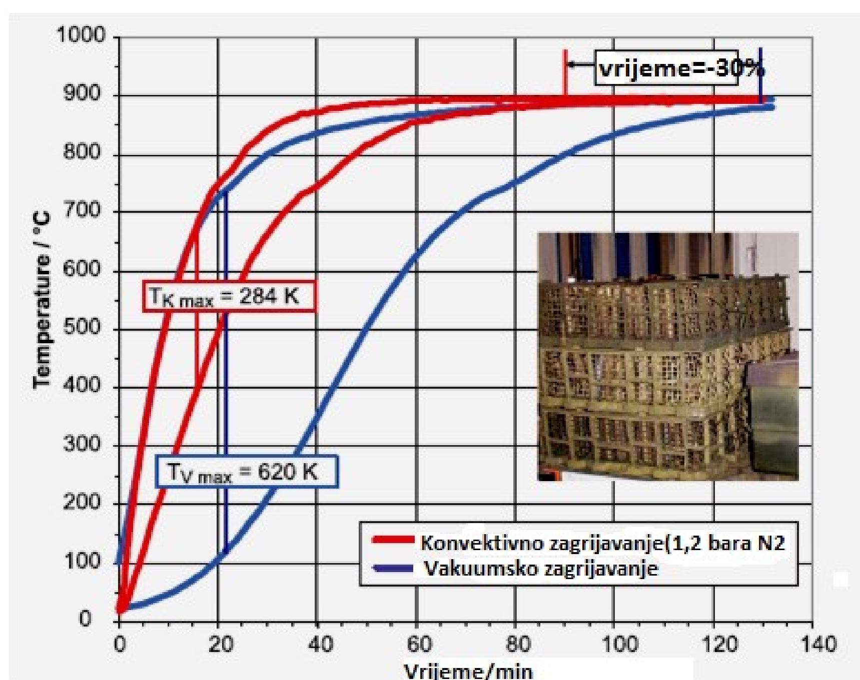
***Tabela 3. Vrste vakuuma i njihova primjena u termičkoj obradi vakuumskim pećima***

| **Vrsta vakuuma** | **p, mbar** | **Primjena kod termičke obrade** |
|---|---|---|
| Grubi vakuum | 1000… 1 | - Nelegirani čelici (kaljenje, cementacija) |
| Srednji vakuum | 1… $10^{-3}$ | -Legirani alatni čelici<br>-Nehrđajući čelici (osim legiranih titanom) |
| Fini vakuum | $10^{-3}$… $10^{-6}$ | -Nehrđajući čelici (legirani titanom)<br>-Alati prevučeni CVD prevlakama |

Vakuumske metode i mjerenja danas su praktički nezaobilazni i u nauci i u tehnici i tehnologiji. U mikrosvijetu praktički nema pokusa koji se ne može postići bez upotrebe vakuuma. Međutim, proizvodi najnaprednijih tehnologija sve češće se stvaraju u vakuumskim uslovima ili se vakuumski uslovi koriste tokom njihovog dnevnog funkcioniranja. Jasno je stoga da je moderni laboratorij teško zamisliti bez odgovarajućih vakuumskih uređaja. Različite kvalitete vakuuma postižemo različitim uređajima ustrojenim prema različitim fizikalnim principima. Uređaji za postizanje vakuuma su: mehanička rotaciona pumpa, difuzijska pumpa, turbomolekularne pumpe, kriogene pumpe, sublimacijske pumpe, itd.

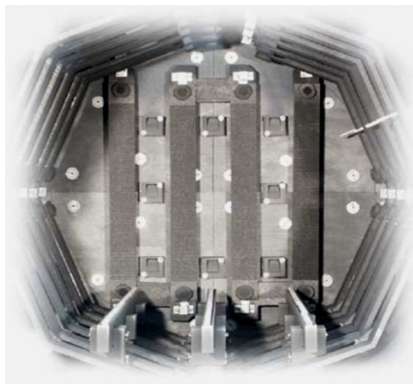
### 3.1.2. Konvektivno zagrijavanje vakumskih peći

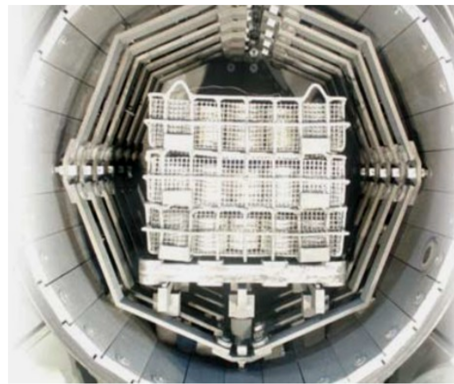
Prenos toplote u vakuumu vrši se zračenjem, slika 14. Ovaj prenos je, međutim, primjetan i efikasan tek na temperaturama iznad 500°C do 600 °C. Da bi se i na nižim temperaturama (tamno zračenje) zagrijavanje vršilo ravnomjerno i brzo, upotrebljava se za konvektivni prenos toplote zaštitni plin (gas). Strujanje zaštitnog plina (gasa) se vrši od grijača ka šarži koja se grije. Za ravnomjerno i brzo konvektivno zagrijavanje neophodno je da radna komora bude zaptivena, tako da gas ne izlazi iz nje, kao i toplotno dobro izolovana.
Zagrijavanje se vrši radijacijom (zračenjem). Isisavanjem zraka i ostalih plinova sprječava se zagrijavanje konvekcijom. Neke vakuumske peći imaju poseban ventilator za ubacivanje inertnih plinova. Najčešće je to dušik ($N_2$) koji kruži oko šarže i omogućava konvekcijsko zagrijavanje.



***Slika 14. Poređenje krivulja vakuumskog zagrijavanja šarže u odnosu na konvekcijsko zagrijavanje, uz dodavanje dušika u vakuumsku komoru***

Pravilan izbor materijala i pravilna izrada komore za zagrijavanje ključni su u ostvarivanju jednolične temperature po čitavom volumenu komore. Fizikalna svojstva konstrukcije za zagrijavanje i njezinih elemenata koji vrše zagrijavanje i obavijaju šaržu utieču na mnoga svojstva zagrijavanja unutar vakuumskih peći.





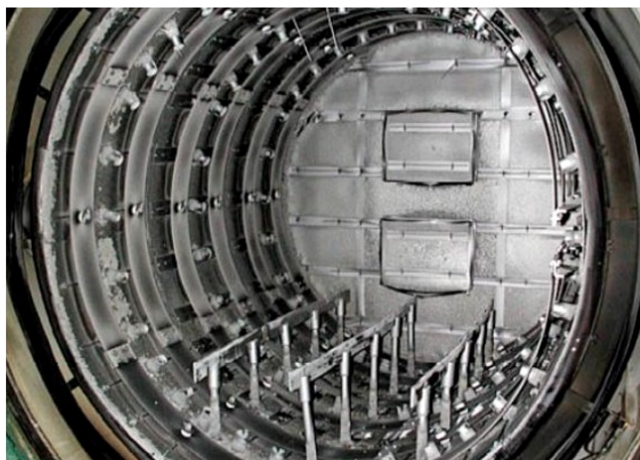
***Slika 15.Komora za zagrijavanje***

***Slika16. Komora za zagrijavanje sa šaržom***

Konstrukcija za zagrijavanje koja obavija šaržu može biti izrađena od metalnih šipki, cijevi ili ploča, vlaknastog dielektrika, ili od njihove kombinacije. Metalni dijelovi konstrukcije su izrađeni od nehrđajućeg čelika i/ili vatrootpornog metala. Najčešće se koriste vatrootporni metali molibden (Mo) ili tantal (Ta). „Vlaknasta“ konstrukcija, koja najčešće sadrži grafitna ili keramička vlakna, veoma je isplativa zbog manje cijene, dužeg trajanja i velike otpornosti na toplinske šokove. Konstrukcija izrađena od metala i vlakana predstavlja srednji nivo cijene i rada. Elementi (grijači) koji se koriste za zagrijavanje najčešće su metalni ili grafitni.

Metalni elementi (Mo, Ta, La, W, Ni, Cr, Fe, Cr, Al) su izrađeni u obliku uskih ili širokih traka ili metalnih šipki. Metalni elementi legirani niklom i željezom imaju odličnu otpornost na oksidaciju. Koriste se za postizanje temperatura od oko 1150°C. Elementi izrađeni od molibdena koriste se pri temperaturama do oko 1315°C, a postoje i elementi izrađeni od molibdena koji imaju primjenu do 1650°C.

Grafitni elementi su proizvedeni u obliku šipki, cijevi, ploča i traka, a mogu biti i kružnog oblika. Grafit je veoma lagan, otporan na toplinske šokove, otporan na agresivne medije i toplinski jako stabilan. Elementi za zagrijavanje izrađeni od grafita imaju dugi vijek trajanja i ekonomski su veoma isplativi. Imaju malu masu i lagani su za održavanje i mijenjanje.



***Slika 17. Komora za zagrijavanje sa grafitnim elementima***

Temperatura se unutar komore za zagrijavanje mjeri pomoću temperaturnih senzora-termoparova. Oni daju preciznu informaciju o temperaturi unutar komore što omogućuje točno mjerenje vremena zagrijavanja i držanja na temperaturi termičke obrade. Podaci o temperaturi se mogu učitavati računarom, što obradu čini visoko automatiziranom i programabilnom.

## 3.1. 3. Prednosti i nedostaci vakumskih peći

Postoje mnoge prednosti, ali i neki nedostaci vakuumskih peći u odnosu na ostale tipove peći (plamene peći, električne peći i druge). Vrste metalnih materijala koje možemo termički obraditi u vakuumskim pećima su: alatni čelici (za hladni rad, za topli rad i brzorezni), nehrđajući čelici, legirani čelici za poboljšavanje, legirani čelici za cementaciju, vatrootporni čelici i superlegure na bazi nikla (Ni) i kobalta (Co) .

3.1.3.1. Prednosti vakumskih peći

Predmet termički obrađen u vakuumskoj peći, slika 18, nije podložan procesu oksidacije zbog toga što je u komori za zagrijavanje vakuum i nema čestica koji bi stvarale štetne spojeve. U procesu zagrijavanja, na temperaturu obrade, dolazi do razgradnje postojećih oksida. Posljedica toga je velika čistoća obrađivanog materijala i metalni sjaj; nema razugljičenog rubnog sloja i nije potrebna naknadna obrada materijala; deformacije i promjene mjera (iskrivljenja) su značajno manje u odnosu na ostale načine termičke obrade. To je posljedica odgovarajućeg šaržiranja i gašenja u struji plina pod pritiskom ili smjesi plinova.
Prednosti vakuumskih peći su takođe i najpogodniji uslovi za automatsko vođenje procesa obrade uz visoku ponovljivost postupka, najhumaniji radni uslovi za poslužitelja peći kao i obrada bez otpadnih materija i zagađivanja okoline.



***Slika 18. Predmeti obrađeni u vakuumskoj peći imaju metalni sjaj***

3.1.3.2. Nedostaci vakumskih peći

Najveći nedostatak vakuumske peći je njena cijena. Vakuumska peć unutar komore za zagrijavanje mora ostvariti vakuum, stoga ona ima dodatne komponente kao što su vakuumske pumpe, uređaji za mjerenje visine „vakuuma“, uređaji za detekciju propuštanja, različiti ventili, ventilatori i posebni sistemi za hlađenje. Komora za zagrijavanje mora biti hermetički zatvorena i ne smije biti propuštanja pa je izrada vakuumske peći vrlo zahtjevan proces. Posljedica je bolji kvalitet termičke obrade, ali i znatno povećanje cijene u odnosu na druge peći za termičku obradu

## 3.2. Elektropeći

Elektrotermija je oblast elektrotehnike u kojoj se proučava konverzija električne energije utoplotu. Pri tome se proučavaju, fizički fenomeni ove konverzije i tehnički uređaji za konverziju te i njihova međuzavisnost sa električnom napojnom mrežom. Pri proticanju električne struje uvijek se odvija i proces pretvaranja električne u toplotnu energiju. Međutim, u elektrotehnici, ovako nastala toplota najčešće predstavlja gubitke energije. U elektrotermiji, naprotiv, dobijanje toplote je poželjno.

Elektrotermički procesi, posebno u metalurgiji, imaju niz prednosti nad ostalim vidovima zagrijavanja, pa se u budućnosti može očekivati njihova još intenzivnija primjena. Mi ćemo se upoznati sa osnovama najčešće korišćenih načina električnog zagrijavanja u industriji. Zbog velike koncentracije gustine snage na relativno maloj zapremini, kod elektrolučnog zagrijavanja nije moguće ravnomjerno zagrijavanje metala, te se lučne peći koriste za topljenje metala, a ne za termičku obradu.

### 3.2.1. Elektro-otporne peći

Za termičku obradu metala (žarenje, popuštanje, zagrijavanje prije kovanja i presovanje), pored plamenih peći zagrijavanih pomoću tečnog ili čvrstog goriva, najčešće se koriste elektrootporne peći, slika 19. U

odnosu na plamene, elektrootporne peći imaju niz prednosti kao što su: u radnom prostoru peći moguće je obezbijediti željeni raspored temperature, pa slijedi, i ravnomjerno zagrijavanje materijala – šarže; moguća regulacija dovedene energije i po vremenu i po prostoru peći; lako se priključuje na izvor energije; brzina starta je velika; pogodnost za mehanizaciju i automatizaciju procesa; preobražaj električne energije u toplotnu ne izaziva promjenu atmosfere u unutrašnjosti peći.



***Slika 19. Unutrašnjost elektro-otporne peći***

Kod kontinuiranih protočnih peći jako je bitno poznavanje prostorne raspodjele temperature po presjeku komore. U praktičnim uslovima proizvodnje teško se postiže željeni dijagram zagrijavanja što nakanadno rezultira lošim kvalitetom gotovog proizvoda. Postoji niz različitih faktora koji utiču na prijenos toplote u radnom prostoru peći.
Obezbijediti jednakomjernost rasporeda temperature po dužini i visini peći uglavnom zavisi od rasporeda elektrootpornih tijela za elektro peći i rasporeda gorionika za peći zagrijavane plinskim ili tečnim gorivom. Zbog navedenih problema često se vrši provjera prostorne raspodjele temperature u komadima. Prema načinu zagrijavanja, elektrootporne peći i uređaji se mogu podijeliti na:

- uređaji sa direktnim zagrijavanjem kod kojih se toplota razvija direktno u materijalu koji se zagrijava, zahvaljujući električnoj struji koja kroz njega protiče,
- peći sa indirektnim zagrijavanjem, kod kojih se toplota generisana u električnim grijačima

(otpornicima) predaje šarži po zakonima prostiranja toplote.

Otpornici su najčešće metalne legure na bazi željeza, nikla, kroma, aluminijuma, kobalta i mangana, u obliku masivnog cilindričnog provodnika (žice) ili u obliku trake. Komercijalni nazivi najčešće primjenjivanih otpornika su kantal, megapir, cekas-ekstra, ravnal, termal itd.



***Slika 20. Zagrijavanje u elektro-otpornoj peći***

Za termičku obradu metala (žarenje, napuštanje, zagrijavanje prije kovanja i presovanje) pored plamenih peći, zagrijavanih pomoću tečnog ili čvrstog goriva, najčešće se koriste elektrootporne peći, slika 20. U odnosu na plamene, elektrootporne peći imaju niz prednosti kao što su: u radnom prostoru peći moguće je obezbijediti željeni raspored temperature, a time i ravnomjerno zagrijavanje materijala – šarže; moguća regulacija dovedene energije i po vremenu i po prostoru peći; lako se priključuje na izvor energije; brzina starta je velika, pogodnost za mehanizaciju i automatizaciju procesa, preobražaj električne energije u toplotnu ne izaziva promjenu atmosfere u unutrašnjosti peći. Površinska snaga zračenja određuje se prema eksperimentalno utvrđenom ***Stefan-Bolcmanovom zakonu***:

gdje je: $\sigma = 5{,}77 x 10^{-8} \left[ W/m^2 K^4 \right]$ - univerzalna konstanta

S - površina zračenja $\left[ m^2 \right]$

T - apsolutna temperatura $[K]$.

Za praktični proračun, ovaj zakon je pogodnije pisati u obliku:

$$p' = \frac{P}{S} = C_e \cdot \left( \frac{T}{100} \right)^4$$

Odnosno ako koristimao $C=\varepsilon \cdot C_0$ imat ćemo:

$$p' = \frac{5,77}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \left[ W/m^2 \right]$$

Ako imamo slučaj zračenja između dvije paralelne površine, u gornjem izrazupostaje $S_1 = S_2$, *a* ako smatramo da je $S_2$ *=beskonačno* ili $C_2 = C_e$ što znači da površina $S_1$ zrači u beskonačni prostor, dobićemo da je:

$$p' = C_1 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right].$$

Kod proračuna, uvodi se pojam dozvoljene površinske snage zračenja, koja je uvijek manja od izračunata po prednjim jednačinama. Ove dozvoljene površinske snage zračenja propisuju proizvođači otpornika, zavisno od upotrijebljenog materijala.

### 3.2.2. Elektroindukcione peći

Indukciono zagrijavanje metala primjenjuje se u industriji od kraja XIX stoljeća, a danas jeveć poprimilo veoma široke razmjere u mnogim granama industrije. Do naglog povećanja primjene ovog načina zagrijavanja dolazi uglavnom, zbog njegovih preimućstva kao što su: toplota se stvara neposredno u zagrijavanom tijelu, što povećava iskorišćenje toplote i povećava brzinu zagrijavanja.

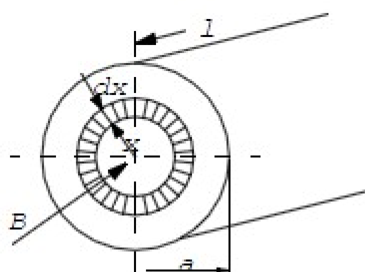
Uređaj za indukciono zagrijavanje metala u suštini predstavlja namotaj, koji se napaja naizmjeničnom strujom. Tijelo koje se zagrijava –šarža, smješteno je u naizmjeničnom magnetnom polju koga stvara namotaj - induktor. Promjenljivi magnetni fluks prouzrokuje u metalnom tijelu promjenljive elektromotorne sile, a one izazivaju vrtložne struje, koje i zagrijavaju tijelo. Na taj način, toplota koja se stvara u tijelu zavisi, osim ostalih faktora i od specifične otpornosti zagrijavanog tijela.





***Slika 21. Elektroindukcione peći***

Indukciono zagrijavanje u principu predstavlja pretvaranje elektromagnetne energije u toplotu. Fizički, ovaj proces se sastoji u indukovanju elektromotorne sile u tretiranom metalu, koja u njemu uzrokuje naizmjeničnu struju. Toplotna energija gubitaka izazvana ovom strujom, ustvari je uzrok zagrijavanja metala. Kao izvor elektromagnetnog polja kod uređaja za indukciono zagrijavanje služi induktor, koji najčešće ima oblik solenoida. Pri proučavanju pojava pri indukcionom zagrijavanju polazi se od osnovnih jednačina elektromagnetnog polja, poznatih pod nazivom Maksvelove jednačine. Međutim, njihovo proučavanje prevazilazi okvire ovog predavanja. Ipak, zbog velike praktične važnosti izvjesnih pojava u elektro tehnologiji, ovdje se podsjeća na neke  pojave kao što je pojava vrtložnih struja, pojava skin efekta i neke elektrodinamičke pojave u tečnoj šarži.

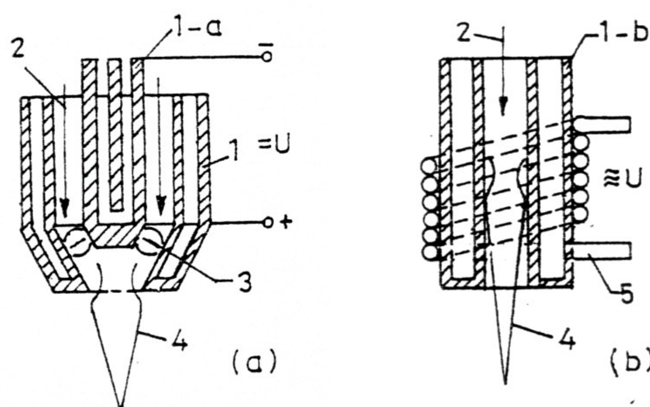



***Slika 22. Cilindrični provodnik u magnetnom polju***

### 3.2.3. Plazma peći

Već dugi niz godina u ekstrakciji i preradi metala koriste se klasične elektrolučne peći snage više desetina megavata. U novije vreme sve češće se sreću nove – plazma tehnologije, kako u metalnoj industriji, tako i u preradi otpada i drugim privrednim granama. Ovdje su opisane mogućnosti primjene savremenih tehnika i tehnologija, počev od usavršavanja dizajna samih peći, preko poboljšanja izvora napajanja, do potpune računarske kontrole procesa. Usavršavanje dizajna vrši se iterativnim postupkom konstruisanja, modelovanja i simulacije na računaru, ali se u modele unose i parametri dobijeni mjerenjima na postojećim realnim sistemima. Računarski hardver i softverske platforme za mjerenje i upravljanje (LabVIEW i drugi paketi) omogućavaju izradu aplikacija potpuno prilagođenih konkretnom postrojenju. Sva ta rešenja omogućavaju veću fleksibilnost, pouzdanost i kontrolu sistema, smanjenje proizvodne cijene, veću energetsku efikasnost i manje troškove održavanja.

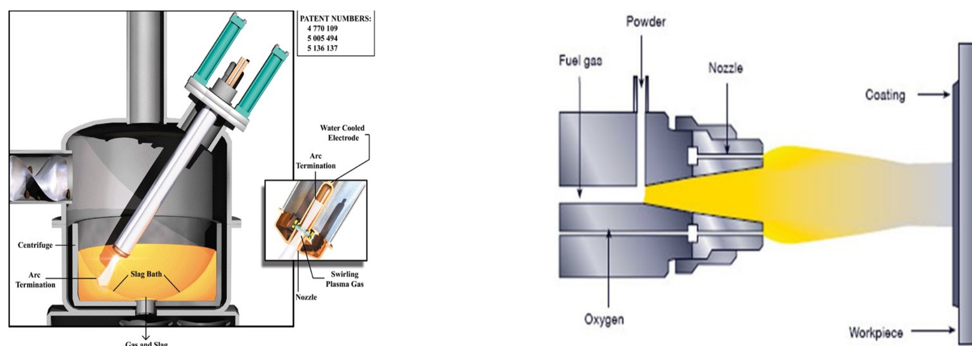
Kod plazma generatora, odnosno jonskih izvora toplote, formiraju se joni toplotnom, odnosno udarnom jonizacijom gasova i para. Oni u prostoru, zajedno sa manjim brojem preostalih neutralnih molekula, čine jedan termodinamički sistem, čiju unutrašnju energiju čini kinetička energija neuređenog kretanja ovih naelektrisanja i neutralnih molekula. Ovakva mješavina jona i neutralnih molekula naziva se "nepotpuno jonizovana plazma". Kod jonskih izvora toplote koriste se isključivo čisti dvoatomski gasovi, kao što su: argon $Ar_2$ i azot $N_2$. Takvi izvori toplote se još nazivaju i "plazma generatori". Za toplotnu jonizaciju u takvim generatorima se koristi električni luk, kako je to na slici 23-(a) prikazano, ili visokofrekventno električno polje, koje je prikazano na slici 23-(b).




***Slika 23. Plazma generatori***

Električni luk formira se između centralne elektrode i zidova generatora, slika 24. On dostiže temeparture i do nekoliko hiljada K i u njemu se vrši toplotna jonizacija gasa koji prinudno struji kroz njega. Da se centralna elektroda i zidovi generatora ne bi topili na tako visokim temperaturama,

one se izrađuju od volframa, ali se ipak kroz unutrašnje šupljine hlade tečnošću.

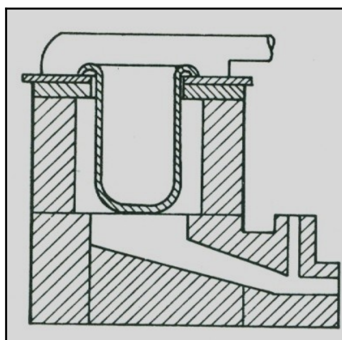



***Slika 24. Skica centrifugalne plazma peći***

### 3.2.4. Solna kupatila

Sona kupatila su posebna vrsta peći za izvođenje termičke obrade. U solnim kupkama je sredstvo za zagrijavanje tekuća (rastopljena) so, u kojoj je zagrijavanje mnogo brže. U daljem tekstu biće spomenute najvažnije vrste ovih peći.

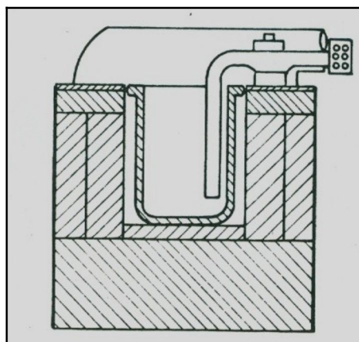
- **Solna kupka s loncem za indirektno plameno zagrijavanje** vidi se na slici 25. Kod nje plamen okružuje metalni lonac, a zagrijavanje može biti i električno (otpornim elementima). Ovakve peći se upotrebljavaju, zavisno od izdržljivosti lonca, do temperatura čak i $900^0$ C, a većinom da $750^0$ C. Zavisno o soli, koja se stavlja u lonac, ovakve peći se upotrebljavaju za sve vrste popuštanja, žarenja, hemijsko-termičke obrade i kaljenja.



***Slika 25. Solna kupka s loncem (plameno zagrijavanje)***

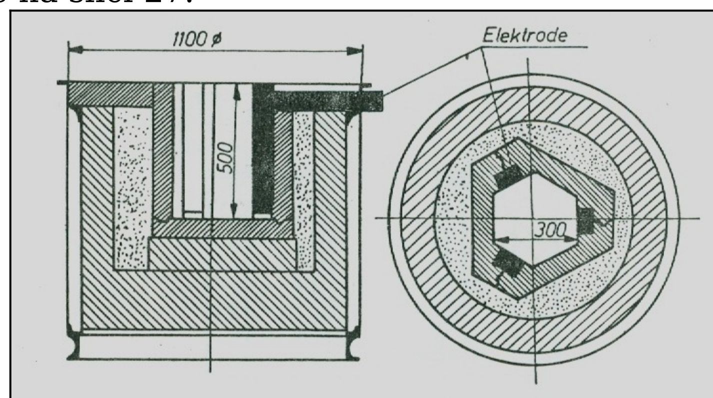
So u loncu moguće je zagrijavati i direktnim elektrodama. Elektrode po kojima dolazi električna energija od transformatora , su uronjene u so. Transformator je nemješten pored peći.

- **Elektrodna kupka s metalnim loncem,** prikazana je na slici 26. Ova kupka se može upotrebljavati zavisno o izdržljivosti lonca i vrsti soli za temperature preko 1000$^0$C, a većinom do 950$^0$ C. Najviše se upotrebljava za zagrijavanje dijelova za kaljenje i za hemijsku termičku obradu (naugljičenje, karbonitriranje i slično).



***Slika 26. Elektrodna kupka s metalnim loncem***

- **Trofazna elektrodna solna peć s keramičkom kadom** za zagrijavanje dijelova do najviših temperatura, (čak i do1300$^0$ C), koja se upotrebljava za kaljenje brzoreznih čelika i čelika za vrući rad, prikazana je na slici 27.




***Slika 27. Elektrodna solna kupka s keramičkom kadom***

Prije stavljanja dijelova u vruću so potrebno je dijelove odmastiti, dobro oprati, predgrijati i objesiti na vješalice. **Ako se stave hladni komadi u vruću so doći će do „prskanja“ soli u okolinu, što je veoma opasno po operatera.**

U solnim kupkama se se termička obrada izvodi u malim i srednjim serijama. U nima je moguće obrađivati i velike serije dijelova, samo kada su potpuno automatizovane.

I pored svih prednosti zagrijavanja u solnim kupkama ipak se opseg termičke obrade u njima ograničava prvenstveno zbog teškoća kod zaštite radnika i zaštite okoline. Posljedica toga je sve veća upotreba modernijih automatskih postrojenja kod kojih se dijelovi tretiraju u kontrolnoj atmosferi.

Na kraju ovog poglavlja može se još jedanput navesti da se pod pojmom „termička obrada“ podrazumijeva svaki onaj postupak u kojem se obradak podvrgava temperaturno-vremenskim ciklusima kako bi dobio potrebna mehanička, fizička i hemijska svojstva. Konkretna svojstva koja se u praksi traže su: duža trajnost, veća čvrstoća, otpornost na trošenje, otpornost na česte promjene temperature, otpornost na agresivne medije, bolji udarni parametri itd. Sve se to postiže obaveznim zagrijavanjem, na određeni način, zbog čega su u prethodnom tekstu navedene podjele i osnovne karakteristike savremenih peći za termičku obradu.

Kod rukovanja savremenim pećima, tačnost kod zagrijavanja zavisi i od dobrog poznavanja toplotehnike i materijala koji se zagrijavaju kao i načina njihovog zagrijavanja. Ovo je posebno važno, pošto komadi prilikom zagrijavanja i hlađenja usljed nepovoljnog termičkog režima mogu zbog nastalih unutrašnjih napona puknuti, a zavisno od njihove veličine i vrste materijala šteta, može biti velika. Ako se komad pregrijava više vremena nego što je predviđeno, može nastati grubozrnasta struktura koja slabi žilavost materijala. Zbog toga se akcenat stavlja na dobro poznavanje teorije toplotehničkih procesa, a potrebno je imati i mnogo iskustva u praksi.

## 4. STANDARDI I STANDARDIZACIJA U TERMIČKOJ OBRADI NA PROSTORU BOSNE I HERCEGOVINE

Termička obrada je jedan od najvažnijih tehnoloških zahvata koji utiče na konačan nivo kvaliteta proizvoda. Najčešće se zahtijeva poboljšanje karakteristika otpornosti na opterećenje i habanje.  Za svaku vrstu termičke obrade postoji određena namjena koja je definirana promjenama osobina metala koje pri tome nastaju. Svi načini termičke obrade primjenjuju se zbog smanjenja ili povećanja otpornosti na djelovanje sile. Smanjenje otpornosti na djelovanje sile izvodi se onda kada je potrebno dalje obrađivati metal djelovanjem sile ili kad metal u takvom stanju ima pogodnije fizičke i hemijske osobine.Povećanje otpornosti na djelovanje sile procesima završne obrade ima veliki značaj u mašinskoj industriji jer se na takav način postižu visoka upotrebna svojstva dijelova u radu.Smanjenje otpornosti metala i legura ili omekšavanje materijala postiže se primjenom postupaka žarenja, a povećanje otpornosti ili ojačanje postupkom kaljenja.Svaka metoda termičke obrade predstavlja skup operacija koje se mogu obaviti  jednostavnim ili kombinovanim procesom po određenom režimu obrade. Osnovni zahtjevi režima termičke obrade odnose se na temperaturu zagrijavanja, način zagrijavanja, vrijeme zagrijavanja i brzinu hlađenja.  Važne mehaničke osobine kao što su zatezna čvrstoća, napon tečenja, tvrdoća, žilavost i plastičnost mogu se poboljšati promjenom hemijskog sastava-legiranjem, promjenom veličine metalnog zrna, ali na njih se može uticati i promjenom strukture i stvaranjem novih faza u procesima termičke obrade. Promjena strukture i stvaranje novih faza u procesu termičke obrade čelika događa se u čvrstom stanju, a bazira se na: polimorfiji željeza,promjeni rastvorljivosti ugljika i drugih legirajućih elemenata u rešetki željeza i sposobnosti atoma da se difuzno premještaju na povišenim temperaturama.

## 4.1. Pojam standardizacije i podjela

Standardizacija je djelatnost unutar koje se oblikuju, izdaju i primjenjuju standardi (dokument za opštu i višekratnu upotrebu, donešen konsenzusom i odobren od priznatog tijela) radi olakšane komunikacije i saradnje te poslovanja i napretka u raznim granama privrede.

- **Međunarodna standardizacija** je standardizacija utvrđena od strane međunarodne organizacije (međunarodno tijelo) za standardizaciju i vrijedi za sve države.

- **Regionalna standardizacija** je standardizacija koja vrijedi samo za zemlje određenog dijela svijeta, bilo geografskog, političkog ili ekonomskog.  **Evropska standardizacija** je standardizacija koju su utvrdile evropske organizacije za standardizaciju i u kojoj učestvuju zemlje Evrope.

- **Nacionalna standardizacija** vrijedi samo za određenu državu i donosi se na nivou države u kojoj se koristi.

- **Pokrajinska standardizacija** je standardizacija utvđena na nivou dijela neke države.

U Bosni i Hercegovini,BAS - bosanskohercegovačke standarde donosi Institut za standardizaciju. Rad Instituta i njegovih stručnih tijela usklađen je sa principima međunarodne i evropske standardizacije te internom regulativom CEN-a. Institut donosi izvorne bosanskohercegovačke standarde te preuzima međunarodne i evropske standarde. Institut je, putem tehničkih komiteta, preuzeo više od 12000 međunarodnih i evropskih standarda uglavnom metodom proglašavanja. Od ovih standarda, 250 standarda je preuzeto metodom prevođenja.

## 4.2. Ciljevi standardizacije

Opći ciljevi standardizacije su:

- osiguranje prikladnosti nekog proizvoda, procesa ili usluge svojoj namjeni u određenim uvjetima
- ograničavanje raznolikosti izborom optimalnog broja tipova ili veličina,
- osiguravanje kompatibilnosti i zamjenjivosti različitih proizvoda,
- sigurnost,
- zaštita zdravlja,
- zaštita okoline itd.

## 4.3. Principi standardizacije

Principi na kojim se bazira savremena standardizacija su:

- konsenzus,
- uključivanje svih zainteresiranih strana,
- javnost rada,
- stanje tehnike,
- koherentnost.

### 4.3.1. Konsenzus

Osnovni princip standardizacije je konsenzus.
Konsenzus znači opću saglasnost koju karakterizira odsustvo trajnog suprotstavljanja zainteresiranih strana na bitna pitanja rasprave, a koja se postiže kroz proces koji nastoji uzeti u obzir gledišta svih učesnika rasprave, te usaglašavanjem svih spornih činjenica.
**Značajno je naglasiti da: *Konsenzus nužno ne znači jednoglasnost.***

### 4.3.2. Uključivanje svih zainteresiranih strana

Demokratski postupak pripreme standarda pretpostavlja uključivanje svih zainteresiranih strana koje imaju pravo učestvovati i dati svoj doprinos izradi standarda kako bi ga dobrovoljno primijenile.

Zainteresirane strane su pravne i fizičke osobe zainteresirane za procese i rezultate standardizacije (naprimjer: kompanije, mala i srednja preduzeća, upravna tijela, naučno-istraživačke ustanove, tijela za ocjenjivanje usklađenosti, društvene organizacije, strukovna udruženja, stručnjaci-pojedinci itd.)

### 4.3.3. Javnost rada

Postupak pripreme standarda mora biti dostupan javnosti od početka i u svim fazama. O početku pripreme nekog standarda, tijelu koje ga priprema o dokumentu koji služi kao osnova za njegovu pripremu i fazama pripreme (javna rasprava o nacrtu standarda, objavljivanje standarda), javnost mora biti obaviještena na odgovarajući način.

### 4.3.4. Stanje tehnike

Stepen razvoja tehnike u datom vremenu utemeljeni na provjerenim naučnim, tehničkim i iskustvenim saznanjima.

### 4.3.5. Koherentnost

Zbirka standarda mora biti koherentna, tj. standardi ne smiju biti konfliktni (donošenjem novog standarda za dati predmet, stari se standard povlači).

## 4.4. Pojam standarda i podjela

**Standard** je dokument za opću i višekratnu upotrebu, donesen konsenzusom i odobren od priznatog tijela, koji sadrži pravila, smjernice ili karakteristike aktivnosti ili njihove rezultate i koji ima za cilj postizanje optimalnog stepena uređenosti u datom kontekstu.

***NAPOMENA: Standardi se moraju temeljiti na provjerenim naučnim, tehnološkim i iskustvenim rezultatima, a cilj im je dostizanje optimalnog napretka zajednice (BAS EN 45020:2009, definicija 3.2).***

Iz Uredbe (EU) br. 1025/2012 Evropskog parlamenta i Vijeća Evropske unije:
„Standardi su važni alati za konkurentnost kompanija, posebno malih i srednjih preduzeća, čije je učešće u procesu standardizacije bitno radi tehnološkog napretka Unije. Stoga je neophodno da standardizacijski okvir ohrabri mala i srednja preduzeća da aktivno učestvuju u standardizacijskim aktivnostima i u njih unose svoja inovativna tehnološka rješenja. To uključuje poboljšanje njihovog učešća na nacionalnom nivou gdje ona mogu biti efikasnija zbog nižih troškova i nepostojanja jezičkih prepreka. Prema tome, ova uredba treba poboljšati zastupljenost i učešće malih i srednjih preduzeća u nacionalnim i

evropskim tehničkim komitetima i treba im omogućiti efikasan pristup standardima i razviti svijest o važnosti standarda.”

Standard, također, može da sadrži ili da se isključivo odnosi na terminologiju, simbole, zahtjeve koji se odnose na pakovanje, označavanje ili obilježavanje, ako se primjenjuju na proizvod, metod proizvodnje ili metod obrade.

U mašinstvu su naročito značajni standardi iz oblasti tehničkog crtanja, konstruisanja, mašinskih elemenata, različitih sredstava za transport, alata i alatnih mašina. Bitni su standardi iz oblastizavarivanja, rezanja te drugih proizvodnih tehnologija. U daljem tekstu detaljnije će se razraditi standardizacija značajna za mašinstvo kao tehničku nauku, sa naglaskom na standardizaciju u Bosni i Hercegovini. Također će se pokazati kakvo je trenutno stanje standardizacije unutar oblasti termičke obrade, koja je vrlo bitna grana mašinstva.

### 4.4.1.Vrste standarda prema granama

Postoji više vrsta standarda prema ovoj podjeli. **Vrste standarda prema sadržaju** su:

- standardi koji obuhvataju jedinice, formule, veličine, nazive, simbole itd.
- standarde kavkoće ili kvaliteta, koji govore o karakteristikama i primjerenosti proizvoda, predmeta koji služi nekoj namjeni
- standardi za mjere, koji se odnose samo na mjere proizvoda ili predmeta,
- standardi oblika, koji se odnosi samo na oblike,
- standardi tehnoloških postupaka,
- standardi u industijskim granama ( drvnoj, metalurškoj, tekstilnoj itd.),
- standardi u infrastrukturi ( u graditeljstvu, elektroenergetici, cestovnom transportu, željezničkom transportu, plovnom transportu, zračnom transportu, naftovodu, plinovodu, telekomunikacijama, poštanskom sistemu,
- računarstvu, zdravstvu i sl.
- organizacijski standardi , itd.

**- Osnovni standard** je standard kojim se pokriva široko područje ili koji sadrži opće odredbe za pojedino područje *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.1).*
**NAPOMENA** : ***Osnovni standard može služiti kao standard za direktnu primjenu ili kao osnova za druge standarde.***

**- Terminološki standard** je standard koji se odnosi na termine, obično praćene njihovim definicijama i, ponekad, objašnjenjima, slikama, primjerima itd.*(BAS EN 45020:2009, definicija 5.2).*

**- Standard za ispitivanje je** standard koji se odnosi na metode za ispitivanje, ponekad dopunjen sa drugim odredbama koje se odnose na ispitivanja, kao što su uzorkovanje, upotreba statističkih metoda, redoslijed ispitivanja *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.3).*

**- Standard za proizvod** je standard koji specificira zahtjeve koje mora zadovoljiti proizvod ili grupa proizvoda da bi se osigurala njihova spremnost za namjenu.

**NAPOMENA 1:** ***Standard za proizvod može sadržavati, osim zahtjeva za spremnost za namjenu, direktno ili upućivanjem, aspekte u vezi sa terminologijom, uzorkovanjem, ispitivanjem, pakovanjem i označavanjem i, ponekad, zahtjeve u vezi sa procesom.***

**NAPOMENA 2:** ***Standard za proizvod može biti potpun ili nepotpun, ovisno o tome specificira li sve potrebne zahtjeve ili samo neke. U tom smislu mogu se razlikovati standardi o dimenzijama, standardi o materijalima i standardi za tehničku isporuku. (BAS EN 45020:2009, definicija 5.4).***

**- Standard za proces** je standard koji specificira zahtjeve koje mora ispuniti neki proces, kako bi se osigurala njegova spremnost za namjenu *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.5).*

**- Standard za uslugu je** standard koji specificira zahtjeve koje mora ispuniti neka usluga, kako bi se osigurala njena spremnost za namjenu.

**NAPOMENA:** ***Standardi za usluge mogu se donijeti za područja kao što su praonice rublja, hotelijerstvo, transport, održavanje vozila, telekomunikacije, osiguranje, bankarstvo, trgovina*** *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.6).*

**- Standard za interfejs** jestandard koji specificira zahtjeve koji se odnose na kompatibilnost proizvoda ili sistema u njihovim tačkama spajanja *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.7).*

**- Standard o potrebnim podacima** je standard koji sadrži spisak karakteristika za koje treba navesti vrijednosti ili druge podatke, radi bližeg opisa nekog proizvoda, procesa ili usluge.

**NAPOMENA:** ***Neki standardi određuju podatke koje trebaju navesti dobavljači, a drugi opet kupci*** *(BAS EN 45020:2009, definicija 5.8).*

### 4.4.2. Razlozi pozivanja na standarde

Standardi sadrže tehničku specifikaciju za proizvod, proces ili uslugu. Pozivajući se na standard ili ugrađujući standard u tehnički propis zakonodavac (ministarstva) najlakše dokazuje usaglašenost nekog proizvoda, procesa ili usluge sa bitnim zahtjevima. Naravno, korišćenjem BAS standarda, tehnički propisi u Bosni i Hercegovini bivaju usklađeni sa evropskom legislativom i omogućavaju lakše sporazumijevanje s EU.

## 4.5. Program rada BASa na usvajanju standarda

U skladu sa zahtjevima EU Uredbe br. 1025/2012 kojom se uređuje evropski standardizacijski sistem, svako evropsko i nacionalno standardizacijsko tijelo mora, barem jednom godišnje izraditi svoj program rada. Program rada mora sadržavati podatke o standardima i drugim standardizacijskim dokumentima koje evropsko i nacionalno standardizacijsko tijelo namjerava pripremiti ili mijenjati i dopunjavati, koje ono priprema ili mijenja i dopunjuje i koje je objavilo u prethodnom razdoblju. U Programu rada za svaki projekt bosanskohercegovačkog standarda koji je u pripremi, navedeni su sljedeći podaci:

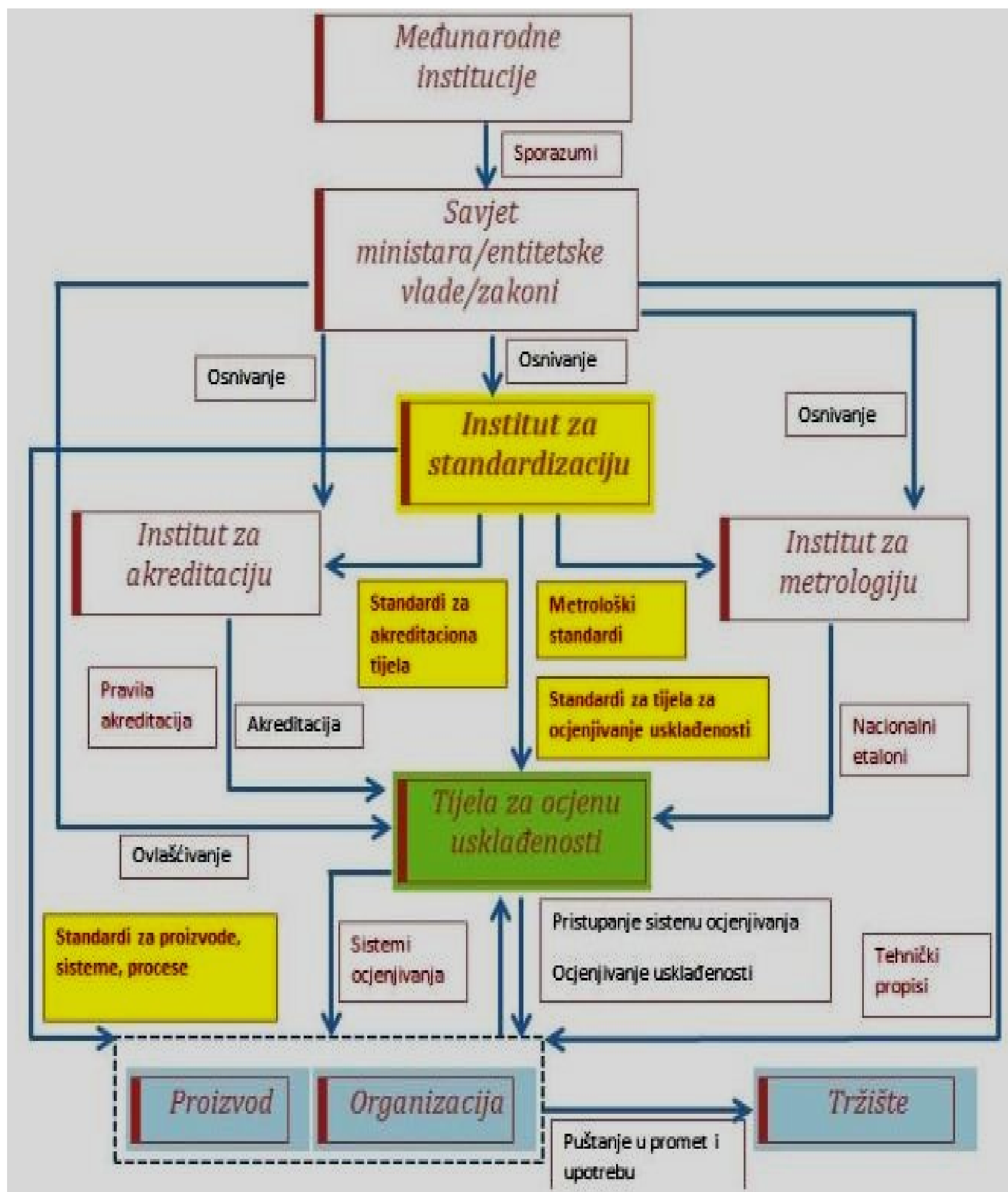
1) oznaka bosanskohercegovačkog tehničkog komiteta,
2) oznaka BAS projekta,
3) oznaka izvornog dokumenta,
4) naziv BAS standarda na jednom od službenih jezika u BiH,
5) naziv standarda na engleskom jeziku
6) metoda preuzimanja,
7) jezik,
8) ICS i
9) trenutna faza izrade.

## 4.6. Stručna tijela BAS Instituta

BAS Institut donosi bosanskohercegovačke standarde putem stručnih tijela. Stručna tijela BAS Instituta su:

- Tehnički komiteti (TC),
- Radne grupe (WG),
- Ad hoc grupe (AG) i
- Unifikaciona grupa (UG).

U ovom trenutku pri Institutu su aktivno 52 tehnička komiteta iz različitih područja standardizacije. U radu ovih tehničkih komiteta angažirano je oko 550 bosanskohercegovačkih stručnjaka iz raznih oblasti. Institut je, putem stručnih tijela, do sada preuzeo više od 24000 međunarodnih i evropskih standarda, uglavnom metodom proglašavanja. Od ukupnog broja, 225 standarda je preuzeto metodom prijevoda.
Na slici 28. prikazane su faze usvajanja standarda.




***Slika 28. Faze usvajanja standarda***

**4.6.1. Tehnički komiteti BASa u BIH**

**BAS/TC 1** Informaciona tehnologija
**BAS/TC 2** Zavarivanje i srodni postupci
**BAS/TC 3** Upravljanje kvalitetom i osiguranje kvaliteta
**BAS/TC 4** Čelik, čelični proizvodi, obojeni metali i legure
**BAS/TC 5** Telekomunikacije
**BAS/TC 6** Oprema za eksplozivne atmosfere
**BAS/TC 7** Okolina
**BAS/TC 8** Koordinacija izolacije, visokonaponska ispitivanja i mjerni

| | |
|---|---|
| | transformatori |
| **BAS/TC 9** | Cement, gips, kreč i drugi anorganski vezivni materijali |
| **BAS/TC 10** | Oprema za mjerenje električne energije i upravljanje opterećenjem |
| **BAS/TC 11** | Nafta i naftni derivati |
| **BAS/TC 13** | Zaštita od požara |
| **BAS/TC 14** | Lična zaštitna oprema |
| **BAS/TC 15** | Elektromagnetna kompatibilnost |
| **BAS/TC 16** | Mašinski elementi |
| **BAS/TC 17** | Tehničko crtanje, simboli i jedinice |
| **BAS/TC 18** | Energetski transformatori, mjerni releji i zaštitna oprema |
| **BAS/TC 19** | Električne instalacije u zgradama |
| **BAS/TC 21** | Beton i proizvodi od betona |
| **BAS/TC 22** | Cestogradnja |
| **BAS/TC 23** | Ljekovito i aromatično bilje |
| **BAS/TC 24** | Ispitivanja bez razaranja (IBR) |
| **BAS/TC 25** | Tehnologija zaštite zdravlja |
| **BAS/TC 27** | Rudarstvo |
| **BAS/TC 28** | Eksplozivi za civilne namjene |
| **BAS/TC 29** | Sredstva i uređaji za dizanje i prenošenje tereta |
| **BAS/TC 30** | Električni kablovi |
| **BAS/TC 31** | Gas i gasna tehnika |
| **BAS/TC 35** | Cestovna vozila |
| **BAS/TC 36** | Arhitektonske konstrukcije, tehnologija i organizacija građenja i fizika zgrade |
| **BAS/TC 37** | Sigurnost građevina od požara |
| **BAS/TC 38** | Mjeriteljstvo i mjerenja |
| **BAS/TC 39** | Zaštita materijala od korozije |
| **BAS/TC 40** | Sigurnost mašina |
| **BAS/TC 41** | Oprema pod pritiskom i kontejneri |
| **BAS/TC 42** | Drvo i proizvodi od drveta |
| **BAS/TC 43** | Komitet za hranu |
| **BAS/TC 44** | Bibliotekarstvo |
| **BAS/TC 45** | Poljoprivreda |
| **BAS/TC 46** | Željeznice |
| **BAS/TC 47** | Uređaji i sistemi za grijanje i hlađenje |
| **BAS/TC 48** | Tekstil, koža, odjeća i obuća |
| **BAS/TC 49** | Hemijski inžinjering, laboratorije i kozmetika |
| **BAS/TC 50** | Ambalaža, plastika i guma |
| **BAS/TC 51** | Automatika |
| **BAS/TC 52** | Upravljačka i sklopna postrojenja |
| **BAS/TC 53** | Fluidi i sistemi fluida |
| **BAS/TC 54** | Sigurnost igračaka i proizvoda za djecu |
| **BAS/TC 55** | Društvena odgovornost |
| **BAS/TC 56** | Konvencionalni i alternativni izvori električne energije |
| **BAS/TC 57** | Kućanski i slični električni aparati |
| **BAS/TC 58** | Eurokodovi |
| **BAS/TC 59** | Društvena sigurnost i zaštita |
| **BAS/AG 1** | AG 1 - CEN |

**BAS/AG 2** AG 2 - CENELEC
**BAS/AG 3** AG 3 - ETSI

### 4.6.2. Da li su još na snazi JUS standardi

•Dinamika ukidanja preostalih obaveznih standarda bivše Jugoslavije (JUS standarda) uslovljena je dinamikom usaglašavanja zakonodavstva BiH sa zakonodavstvom EU, odnosno dinamikom usvajanja novih tehničkih propisa u odgovarajućim oblastima.

•Donošenjem novih tehničkih propisa, za koje su nadležna ministarstva za odgovarajuće oblasti, stari tehnički propisi se stavljaju van snage, a oni JUS standardi sa obaveznom primjenom, koji se odnose na taj stari tehnički propis, se stavljaju van upotrebe.

•Dakle, ovi JUS standardi se ne smiju staviti van snage zato što se možda nalaze u nekom drugom tehničkom propisu koji je još uvijek na snazi. Zato stavljaju se van upotrebe, a ne van snage, ali samo prilikom donošenja novih tehničkih propisa.

## 4.7. Standardizacija u oblasti čelika

Svaka država sa značajnijom proizvodnjom čelika ima propisane standarde za čelik, kako bi se egzaktno opisale pojedine vrste čelika, njihove hemijske i mehaničke karakteristike, oblik, dimenzije, način kontrole itd. Standardizacijom čelika se nastoji olakšati i poboljšati proizvodnja i primjena čelika te olakšati komunikacija između proizvođača i korisnika.Čelik je definisan međunarodnim standardom ISO/TS 4949:2003, te evropskim BAS EN 10020:2000 i srodnim standardima.
Ipak, znatan dio čelika do danas nije standardizovan, što je najkarakterističnije za grupu alatnih čelika.
Prema evropskim standardima: BAS EN 10020, BAS EN 10027-1 i BAS EN 10027-2, propisane su glavne oznake i dodatne oznake po CR 10260 za čelike na osnovu njihove primjene i mehaničkih i fizičkih osobina kako slijedi:

- Konstrukcioni čelici (S, primjer oznake:S355JR),
- Čelici za rad pod pritiskom (P, primjer oznake:P265B9,
- Čelici za cijevi (cjevovode) (L, primjer oznake:L360NB),
- Čelici za mašinstvo (E, primjer oznake E295GC),
- Čelici za armiranje betona (B, primjer oznake:B500H),
- Čelici za šine ili u obliku šina (R, primjer oznake:R0900Mn9,
- Hladno valjani ravni proizvodi od vrlo tvrdog čelika za oblikovanje u hladnom,
- Ravni proizvodi za oblikovanje u hladnom (osim onih iz prethodne tačke) (D, primjer oznake:DC04EK)
- Čelici za elektrolimove (M, primjer oznake M400-50A).

Pored standarda za označavanje čelika, postoje standardi kvaliteta, tj.strukture materijala, standardi poluproizvoda (oblik i dimenzije), standardi primopredajnih uslova i standardi donošenja odgovarajuće svjedodžbe za dotični materijal.

### 4.7.1. Standardizacija čelika u Bosni i Hercegovini

BAS standardi za čelik su nastali preuzimanjem i adaptacijom EN standarda. Sve BAS standarde je usvojio BAS/TC 4. Standard za čelike po BAS EN je poznat pod nazivom „Čelik, čelični proizvodi, obojeni metali i legure".Ovim standardom je dat pregled hemijskog sastava i osobina čelika, njihovih proizvoda, te način ispitivanja čvrstoćnih i drugih osobina, uređaji za ispitivanje, označavanje čelika, itd.

### 4.7.2.Standardizacija čelika koji se mogu termički obrađivati

BAS TC/4 je unutar standardizacije za čelik, čelične proizvode, obojene metale i legure usvojio i standarde za čelike koji se mogu termički obrađivati. Neki od standarda za čelike koji se mogu termički obrađivati su:

- **BAS CEN/TR 10347:2007-Smjernice za oblikovanje konstrukcionih čelika u preradi**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: CEN/TR 10347:2006,identičan;*Ovaj standard pokriva hladne i vruće procese oblikovanja i lokalno vruće oblikovanje koje se koristi u operacijama ispravljanja plamenom. Standard ne pokriva specijalne mjere potrebne za proizvodnju konstrukcionih komponenti koje su izložene naizmjeničnim naponima.

- **BAS EN 10025-1:2005 - Toplo valjani proizvodi od konstrukcionih čelika - Dio 1: Opšti tehnički uslovi isporuke**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN 10025-1:2004, identičan;*
Ovaj dokument određuje zahtjeve za ravne i duge proizvode vruće valjanih konstrukcijskih čelika, isključujući šuplje profile i cijevi. Prvi dio ovog standarda određuje uslove dostave, dok su zahtjevi za konstrukcijske čelike dati sljedećim dijelovima.

- **BAS EN 10083-1:2010 - Čelici za kaljenje i popuštanje (poboljšanje) - Dio 1: Opći tehnički uvjeti isporuke**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN 10083-1:2006, identičan;*
Ovaj dio standardaa određuje generalne zahtjeve isporuke za polugotove vruće oblikovane proizvode, kao što su komadi gvožđa, gredice, ploče, poluge, limove, otkovke itd.

- **BAS EN 10084:2009 -Čelici za površinsko otvrdnjavanje-Tehnički uslovi isporuke**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN 10084:2008, identičan;*
Ovaj dio standarda određuje generalne zahtjeve isporuke za polugotove vruće oblikovane proizvode, kao što su komadi gvožđa, gredice, ploče, poluge, vruće valjani limovi i trake, otkovci nastali hladnim kovanjem i oblikovanjem padajućim čekićima, koji su isporučeni kao termički tretirani.

- **BAS EN 10132-1:2001 - Hladno valjana uska čelična traka za termičku obradu - Tehnički uvjeti isporuke - Dio 1: Općenito**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN 10132-1:2000, identičan*;
Ovaj dio standarda određuje opće tehničke uvjete isporuke za nelegirane i legirane hladno valjane uske čelične trake širine <600 mm za termičku obradu.

- **BAS EN ISO 683-17:2010 - Termički obrađeni, legirani i brzo-rezni čelici – Dio 17: Čelici za kuglične i valjkaste ležajeve**

*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN ISO 683-17:1999,identičan;ISO 683-17:1999, identičan*;
Specificira tehničke uvjete isporuke za meki čelik, nehrđajući čelik, te čelik za rad na visokim temperaturama, koji se koriste za kuglične i valjkaste ležajeve.

**BAS ISO 683-10:2001 - Termički obradivi čelici, legirani čelici i čelici za automate - Dio 10: Plastično prerađeni nitritni čelici**
*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: ISO 683-10:1987, identičan;*Daje uslove tehničke isporuke za komade gvožđa, gredice, ploče, poluge, žice, vruće valjane limove i otkovke proizvedene od nitriranih čelika. Ovi čelici imaju namjenu u proizvodnji gašenih i kaljenih, te zatim nitriranih mašinskih dijelova.

Ostali standardi (važeći i povučeni) iz oblasti čelika za termičku obradu mogu se pogledati na linku:
http://www.bas.gov.ba/standard/index.php?ics_id=780&item_from=0

### 4.7.3. Rječnik termina termičke obrade

Termini u oblasti termičke obrade su standardizovani u sklopu standarda za čelik, čelične proizvode, obojene metale i legure. Svrha ovog evropskog standarda usvojenog i u našoj državi je definiranje termina u termičkoj obradi proizvoda od gvožđa i čelika. Ovi termini su podjeljeni u glavni dio (abecedna lista termina sa njihovim definicijama, te primjenom, i druge komentare, na kraju se nalaze definicije stranih termina za koje

nema ekvivalentnih izraza u našem jeziku), te dopunski (sadrži definicije neophodnih termina kako bi se razumio glavni dio).Za komentare se koristi *Italic font*, kako bi se oni razlikovali od definicija. Termini definisani u glavnom dijelu, a korišteni u ostatku teksta standarda se štampaju velikim slovima. Referentni brojevi u svim verzijama su identični i odgovaraju francuskom abecednom rasporedu.Važeći standardi riječnika termina termičke obrade za proizvode od gvožđa i čelika su kako slijedi:
Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti:

- BAS EN 10052:2005

*(Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: EN 10052:1993, identičan*

- BAS ISO 15787:2003

*(Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: ISO 15787:2001, identičan)*

- BAS ISO 4885:2008

(*Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti: ISO 4885:1996, identičan)*

## 4.8. Standardizacija u oblasti zavarivanja

EN ISO 3834 (ISO 3834) je evropski (međunarodni) standard u oblasti zavarivanja,

- se odnosi na upravljanje procesima proizvodnje zavarivanjem,
- određuje zahtjeve koji se odnose na kvalitet zavarenog proizvoda,
- podstiče aktivni pristup menadžmenta i kontrole kvaliteta zavarenog proizvoda u radionicama ili na mjestu izgradnje, orijentisan na proizvod/proces.

Standard EN ISO 3834 pruža definitivnu listu posebnih elemenata i organizaciju kontrole koja je potrebna na mjestima gde se koristi zavarivanje. Razvijen je sa ciljem identifikacije svih faktora koji mogu da utiču na kvalitet zavarenog proizvoda i koji zahtjevaju kontrolu u svim fazama prije, za vrijeme i nakon zavarivanja.
BAS standardi za zavarivanje su nastali usvajanjem EN standarda. Ove standarde je usvojio BAS/TC 2.Obuhvataju svu opremu za zavarivanje (njenu izradu, instaliranje, upotrebu, te sigurnost pri korištenju), grupišu metale za zavarivanje, daju informacije o zavarljivosti pojedinih metala, definišu položaje za zavarivanje te pojedine postupke zavarivanja. Također, specifikuju postupke za ispitivanje zavarenog spoja, definišu označavanje zavarenih spojeva na crtežima itd.Također, specificiraju „Zahtjeve kvaliteta za termičku obradu u vezi sa zavarivanjem i srodnim postupcima".

### 4.8.1.Zahtjevi kvaliteta za termičku obradu u vezi sa zavarivanjem i srodnim postupcima

Referentni broj izvornog dokumenta i stepen usklađenosti:

- EN ISO 17663:2009, identičan
- ISO 17663:2009, identičan

Termička obrada unutar standarda u oblasti zavarivanja u BiH je definisana standardom BAS EN ISO 17663:2010.
Ovaj standard obezbjeđuje zahtjeve za kvalitet termičke obrade na zraku ili redukovanoj atmosferi ostvarene u radionicama ili u mjestima gdje se ostvaruje zavarivanje ili kovanje. Uglavnom se primjenjuje za feritne čelike, ali može se u nekim slučajevima koristiti i za druge materijale.

BAS EN ISO 17663:2010 obezbjeđuje smjernice za osoblje koje izvodi termičku obradu ili proizvodi termički tretirane proizvode ili dijelove. Ovaj standard se, također, može koristiti kao osnova za procjenu sposobnosti zavarivača. Ovaj standard bi trebao biti fleksibilna okosnica za kontrolu procesa termičke obrade. Od ispunjenja zahtjeva propisanim ovim standardom se može odstupiti ukoliko neka od odredbi nije pogodna za određen proces.
Po ovom standardu, sljedeća oprema bi trebala biti dostupna:

- peći i/ili oprema za zagrijavanje
- oprema za mjerenje i snimanje temperature
- oprema za hlađenje
- uređaji za dizanje i transport
- sigurnosna oprema

Također, potrebno je da proizvođač ili subkoordinator u procesu termičke obrade, u zavisnosti od veličine i mogućnosti koje pruža radionica, da opis osnovne opreme za termičku obradu, kao npr:

- dimenzije peći, maksimalno opterećenje i temperaturu ( u stepenima Celzijusa)
- kapacitet opreme za termičku obradu
- mogućnosti i sposobnosti radnika
- opremu za mjerenje temperature i njen kapacitet
- tip termoparova i klasu tolerancije

Svi instrumenti korišteni za podešavanje, mjerenje i snimanje temperature, po ovom standardu, bit će testirani u određenim intervalima kalibriranjem.
Temperatura peći se, također, redovno provjerava. Ovo se vrši termoparovima u praznoj peći, uz pomoć verifikovanog uređaja. Termoparovi trebaju biti smješteni tako da se, za različite vrste peći, izmjeri najveća moguća razlika temperature. Uzimaju se najmanje četiri mjere, dvije na vrhu peći, dvije na dnu, u različitim uglovima. Mjerenje jednakosti temperature se vrši u intervalima ne većim od 36 mjeseci, ili nakon velikih popravki.
Proizvođač proizvoda ili dijela je odgovoran za određivanje parametara termičke obrade. Oni zavise od debljine i vrste materijala. Tako je potrebno odrediti:

- početnu temperaturu
- brzina zagrijavanja
- temperaturu progrijavanja
- vrijeme progrijavanja

- brzinu hlađenja
- krajnju temperature

Također, proizvođač treba odrediti specifikacije procesa termičke obrade. U slučaju zavarivanja, proces termičke obrade i proces samog zavarivanja su praktično nerazdvojivi. Neke specifikacije koje je potrebno odrediti su:

- vrsta termičke obrade, tj. da li se radi o predzagrijavanju, otpuštanju, normalizaciji
- metoda termičke obrade, da li se vrši u univerzalnim pećima, indukcionim
- lokacija i broj tačaka u kojima se mjeri temperatura
- zahtjevi za zaštitni gas
- vrsta hlađenja
- dizajn i broj proizvoda i dijelova
- uslovi okoline
- veličina zagrijavane zone

Dozvoljeno je termički tretirati dijelove proizvoda odvojeno, uz uslov da je dužina L preklapanja prethodno termički tretiranog dijela sa trenutno tretiranim jednaka:

$L=2,5\sqrt{(2D-4t)t}$ [mm], gdje je:

D – vanjski prečnik proizvoda ili dijela, [mm]
t – nominalna debljina zavarenog spoja, [mm]

### 4.8.2.Termička obrada nakon oblikovanja posuda pod pritiskom

Termička obrada nakon procesa oblikovanja je standardizovana u okviru EN 13445-4:2009, a u BiH, BAS EN 13445-4/A1:2013, koji je zapravo preuzet od navedenog EN standarda.
Termička obrada nakon procesa hladnog ili vrućeg oblikovanja bi trebala biti usklađena sa prikladnim standardima i uključuje normalizaciju, normalizaciju sa kaljenjem, gašenje sa kaljenjem, te žarenje.

Termičko tretiranje ravnih proizvoda obrađenih procesom hladnog oblikovanja trebalo bi se izvoditi u zavisnosti od veličine deformacije. Uopćeno se može reći da je za ugljenične, legirane, nehrđajuće, te čelike za ojačanje potrebna termička obrada ukoliko se poluproizvod nakon oblikovanja deformisao više od 5 %.

Kompatibilnost proizvoda sa specificiranim osobinama se provjerava uz pomoć testnih uzoraka uzetih iz viška gotovog proizvoda. Gdje ovo nije moguće, uzorci se uzimaju iz originalnog materijala, koji se oblikovao i termički tretirao na isti način kao i gotovi proizvod.Gdje se proizvodi sastoje iz više odvojenih dijelova, uzorci se uzimaju iz svakog dijela pojedinačno.Proizvodi se testiraju pojedinačno, sve dok se ne dobije 30 uzoraka koji zadovoljavaju specifikacije.

Na kraju ovog poglavlja mogu se ukratko  izvesti sljedeći zaključci:

Standardima se omogućava masovnija, a samim time i jeftinija i kvalitetnija proizvodnja, konstruiranje i kontrola proizvoda. Mnoštvo pojedinosti koje utiču na primjenljivost nekog materijala ne može se regulirati samo jednim standardom jer treba posebno ograničiti mnoge pojedinosti. Tako ćemo naići na tri –četiri standarda za isti detalj, ne samo u našim već i u međunarodnim standardima.

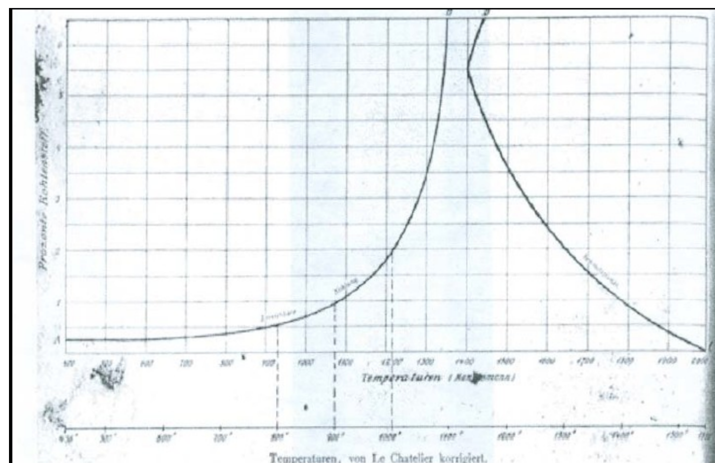
Propisani su standardi za razne oblasti značajne za oblast metala (tehnička dokumentacija, čelici, mašinski elementi, sredstva za transport, automatika, oprema pod pritiskom, zavarivanje i sl.). Unutar nekih od ovih oblasti mogu se naći određeni standardi koji se odnose i koji su usko vezani za termičku obradu, npr. standardizovani su čelici koji se mogu termički obrađivati, te je standardizovana termička obrada nakon zavarivanja i oblikovanja posuda pod pritiskom. Također, standardizovani su termini koji se koriste u ovoj oblasti.

U Bosni i Hercegovini su u potpunosti preuzeti EN standardi, što znači da BiH poštuje međunarodne tehničke propise što joj omogućava lakše stručno sporazumijevanje i tehničku saradnju sa evropskim zemljama.

Standardizacija unutar oblasti same termičke obrade na žalost, još ne postoji. Standardi koji se odnose konkretno na ovu oblast nisu doneseni, što znači da se o standardima vezanim za termičku obradu može govoriti samo u okvirima drugih oblasti.

**5. ZNAČAJ I ULOGA DIJAGRAMA STANJA $Fe-Fe_3C$ U TERMIČKOJ OBRADI**

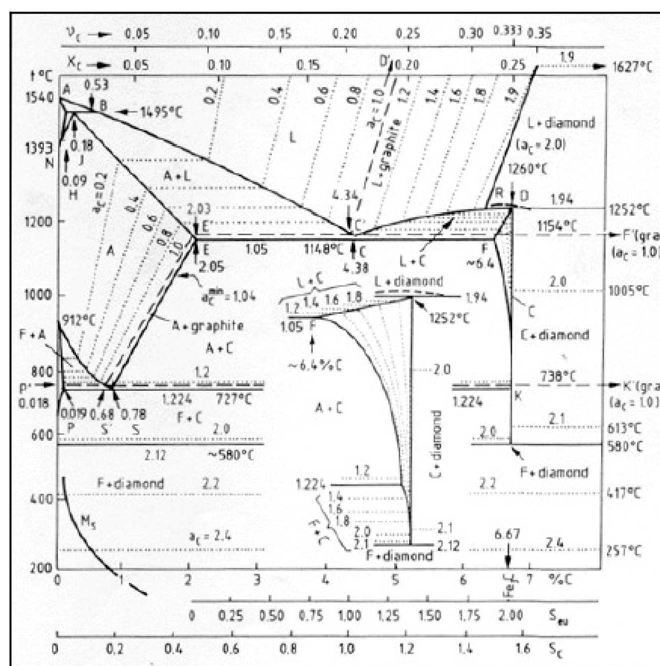
Godine 1869. Gore je opazio da se bijelo usijana gvozdena žica pri naglom hlađenju ne skuplja jednoliko, nego se u početku pokazuje izvjesno povećanje dužine. Ispitivanja su nastavili Pionchon, Barret itd, vršeći proučavanje količine toplote potrebne za postizanje izvjesnog povišenja temperature. 1879. godine Mannesmann je na osnovu rezultata mnogobrojnih eksperimenata konstruisao dijagram (slika 29.), koji se smatra pretečom dijagrama stanja Fe-C. Pošto u to vrijeme nije bilo moguće tačno mjeriti temperaturu fizički, temperature su date opisno kao na pr. „svijetlo žuta“ itd. Tek poslije Le Chatelierovog pronalaska platina/platina-rodijum termoelementa, bilo je moguće izmjeriti temperaturu veoma precizno. Kao što se može vidjeti na dijagramu na slici 29, ovim pronalaskom stiglo se do temperaturnih razlika od oko 200 C . Osmond, Roberts-Austen, Carpenter, Kelling i Heyn su nastavili ispitivanja. Oni su proučavali ponašanje čelika sa različitim procentima ugljika pomoću Le Chatelierovog termoelementa i pri tom su konstatovani skokovi u naponima pri različitim temperaturama.




***Slika 29. Dijagram Fe-C prema Mannesmannu***

U toku stotridesetogodišnjeg perioda od konstruisanja prvog dijagrama stanja (Mannesmann), objavljeno je više od pedeset dijagrama stanja Fe-C, prema raznim autorima, od kojih se neki zasnivaju na potpuno različitim podacima o temperaturama preobražaja i koncentraciji ugljika (C). Od svih objavljenih dijagrama stanja Fe-C, četiri dijagrama (Mannesmann, Roberts Austen 2x i Jüptner) objavljena su od 1879. do 1899. godine. Najveći broj (11) dijagrama stanja Fe-C objavljen je početkom 20. vijeka (od 1900. do 1909.god.); dijagram stanja Fe-C objavljen 1992. godine od A. A. Zhukova slika 30. prikazuje i linije izoaktiviteta, a objavljen je u radu: „Certain topics of the present state of the theory of grafitization of cast iron, Giessereiforschung, Vol.44(1992.), pp.106 do 112. Ovaj dijagram prikazuje razvoj teorije grafitizacije legura željeza. On također daje objašnjenje grafitizacije cementita (na termodinamičkim osnovama), i formiranje i objašnjenje konstante grafitizacije. Dijagram Zhukova takođe, omogućava ocjenu odnosa između

hemijskog sastava, mikrostrukture i mehaničkih osobina livenog gvožđa, čime prestaje stogodišnja praksa proučavanja dijagrama stanja kao „geografije“. Na kraju treba napomenuti da promjene temperature izazivaju tzv. termičke, odnosno makronapone, dok promjene u strukturi čine tzv. mikronapone. One se kombinovano javljaju pri livenju, zavarivanju, gnječenju, termičkoj obradi i slično. Najvažnije je obratiti pažnju na toplotne napone koji nastaju zbog nekih nepovoljnih mjesta u obratku (neujednačeni oblici, nemetalni uključci, ulivna mjesta u odlivku, vanjska grijanja pri zavarivanju). Ovi naponi, lokalizovani čak i oko nemetalnih uključaka, danas se mogu izračunati oof1.bmp analizom, uz prethodnu identifikaciju mikrostrukture naravno, opet pomoću dijagrama stanja Fe-C. U ovom poglavljju dat je kratak prikaz razvoja dijagrama stanja u proteklih 130 godina na osnovu literaturnih podataka i njegovoj višestrukoj, praktičnoj primjeni na osnovu iskustvenih saznanja.



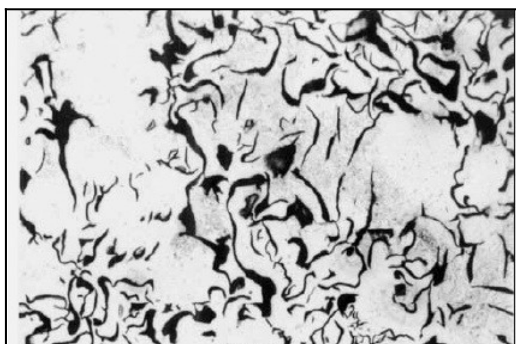
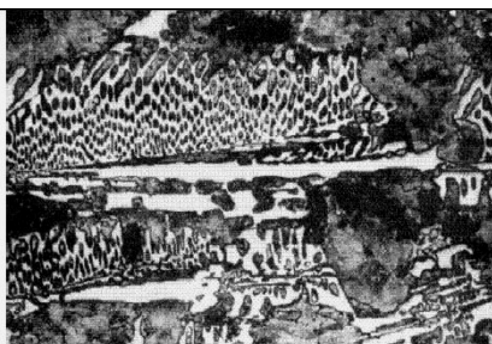

**Slika 30. Dijagram Fe-C prema A. A. Zhukovu, objavljen 1992.**

## 5.1 Osnove o dijagramu stanja Fe-Fe$_3$C (Fe-C)

Ugljik je najvažniji hemijski elemenat koji ulazi u sastav čelika i direktno utiče na njegove osobine, pa se smatra prvom najvažnijom komponentom i (izuzetno) se ne smatra ni primjesom, ni dodatkom u leguri sa željezom. Dijagram stanja željezo-ugljik predviđa stabilne ravnotežne uslove između željeza i ugljika u obliku grafita. Poznato je da se željezo javlja u obliku tri alotropske modifikacije (Osmond): kao nisko temperaturna faza - α; srednje temperaturna faza - γ i visoko temperaturna faza - δ. Pored toga, feritno željezo trpi magnetnu faznu transformaciju na 771$^{O}$C (1420$^{O}$F) između niskotemperaturnog, feromagnetnog i visokotemperaturnog, paramagnetnog stanja. Uobičajeni naziv za volumski centrirano kubno α-željezo (VCK-BCC) je ferit (od ferrum, latinski –željezo); površinski centrirana kubna γ-faza se zove „austenit“ prema William-Roberts-

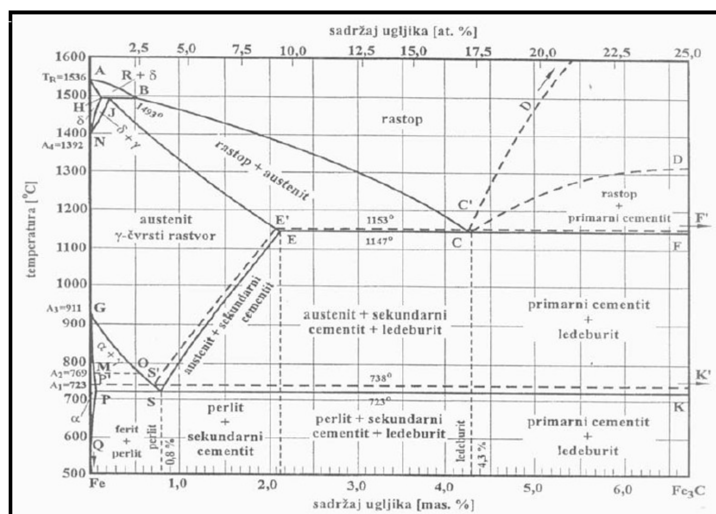
Austenu. Glavna odlika Fe-C dijagrama stanja je prisustvo eutektičke i eutektoidne reakcije, zajedno sa velikom razlikom u rastvorljivosti u čvrstom stanju ugljika u feritu i austenitu. To je karakteristika koja omogućava veliki broj mikrostruktura i mehaničkih osobina Fe-C (Fe-$Fe_3C$) legura pomoću termičke obrade.

Ugljik se u željezu nalazi u dva različita oblika, kao elementarni ugljik (slika 31.),(grafit, temper ugljik) ili u vidu jedinjenja sa željezom kao $Fe_3C$ (slika 32.), (karbid željeza, cementit).

***Slika 31. Grafit (crno)*** ***Slika 32. Cementit (bijelo)***

Shodno tome, procesi kristalizacije u legurama željezo-ugljik opisuju se prema dva različitadijagrama stanja: prema sistemu željezo-karbid željeza (Fe-$Fe_3$ C) i prema sistemu željezo – grafit (Fe –C) (slika 33.) Pune, izvučene linije na dijagramu na slici 33, odnose se na metastabilni sistem Fe-$Fe_3C$ (kristalizacija pri ubrzanom hlađenju), a isprekidane linije na stabilni sistem Fe-C (kristalizacija pri vrlo sporom hlađenju). Svaka linija i tačka u dijagramu tačno definiše sastav legure. Treba primijetiti da se tačka magnetnog preobražaja ne uočava pri praktičnoj termičkoj analizi, jer su razlike u toploti veoma male. Nasuprot ovome, na dilatometarskoj krivoj tačka Acm (početak izdvajanja $Fe_3C$" iz austenita pri hlađenju, a završetak pri zagrijavanju) se zapaža.




***Slika 33. Dijagram stanja Fe-$Fe_3$ C(Fe-C)***

Na slici 33. prikazan je dijagram stanjaFe-$Fe_3$ C prema: M.G. Benz, J.F. Elliot,Trans., AIME 221 (1961)323 i prema R.A.Bucley, W. Hume - Rothery, Trans.AIME 224 (1962), 625 koji se najčešće koriste u praksi.

Linija AHJBCD je likvidus linija iznad koje je legura u tečnom stanju.
Linija AHJECF je solidus granica ispod koje je legura u potpunosti u čvrstom stanju.

Između likvidus i solidus linije, legure se sastoje iz rastopa i čvrste faze koja se izdvaja. Količina čvrste faze se povećava sa sniženjem temperature, tj. napredovanjem procesa kristalizacije. Po liniji AB se izdvaja δ–ferit, po liniji BC austenit (γ ), a po liniji CD primarni cementit ($Fe_3C'$). Kristalizacija čvrste faze iz rastopa je označena kao primarna kristalizacija.
Linije SE i PQ predstavljaju solidus linije – linije rastvorljivosti ugljika u austenitu (SE linija), odnosno rastvorljivosti ugljika u feritu (PQ linija). Pošto se sa sniženjem temperature smanjuje rastvorljivost ugljika u kristalnoj rešetki čvrstog rastvora (α i γ), to se on izdvaja iz rešetke i sa atomima željeza obrazuje cementit. Cementit koji se izdvaja iz austenita po SE liniji naziva se sekundarni cementiti ($Fe_3C''$), da bi se razlikovao od primarnog cementita ($Fe_3C'$), koji nastaje iz rastopa. Cementit koji nastaje iz ferita po PQ liniji se označava kao tercijarni cementit ($Fe_3C'''$). Vertikalna osa sa lijeve strane dijagrama stanja (100 % Fe, 0 % C) predstavlja liniju čistog željeza a na nju nanesene tačke A, N i G odgovaraju temperaturama njegovih alotropskih preobražaja. Vertikalna osa sa desne strane dijagrama stanja je linija čistog cementita (6,67 %C), a položaj tačke D odgovara približno njegovoj temperaturi topljenja. Na liniji ECF se odvija eutektička reakcija na eutektičkoj temperaturi ($1148^0$ C ). Eutektičkom reakcijom se obrazuje mehanička smjesa koja se sastoji od austenita sa 2,0%C i primarnog cementita sa 6,67 %C. Eutektička smjesa se naziva ledeburit I ( sa oznakom L I). Eutektička reakcija se prikazuje na sljedeći način :



$$\mathbf{R_{4,3\%C} \rightarrow L_I\ (\gamma_{2,0\%C} + Fe_3C'_{6,67\%C}).}$$

Linija PSK (727$^0$C) je eutektoidna linija – $A_1$ , po kojoj se odvija eutektoidni preobražaj austenita sa 0,8%C u mehaničku smješu ferita sa 0,25 %C i cementita ($Fe_3C$) sa 6,67 %C. Eutektoidna smjesa se naziva perlit (oznake P), a reakcija njegovog dobijanja se prikazuje



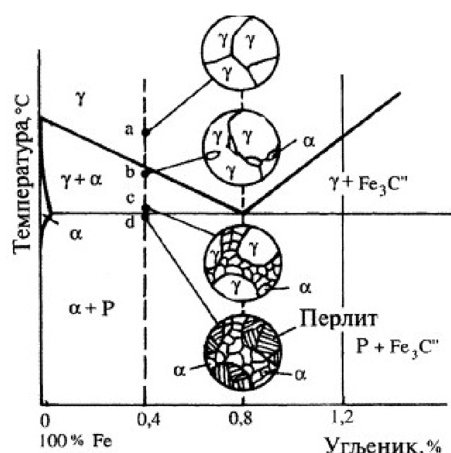
$$\mathbf{\gamma_{0,8\%\ C} \rightarrow P\ (\alpha_{0,025\%\ C} + Fe_3C_{6,67\%\ C})}$$

Legura sastava 0,8% C se naziva eutektoidni čelik, a eutektoidna reakcija predstavlja reakciju u čvrstom stanju (sekundarna kristalizacija). Naziv eutektoidni ukazuje na analogiju ove reakcije sa već opisanom eutektičkom reakcijom, pri čemu ulogu rastopa preuzima austenit; ulogu austenita ferit, a ulogu primarnog cementita sekundarni cementit.

5

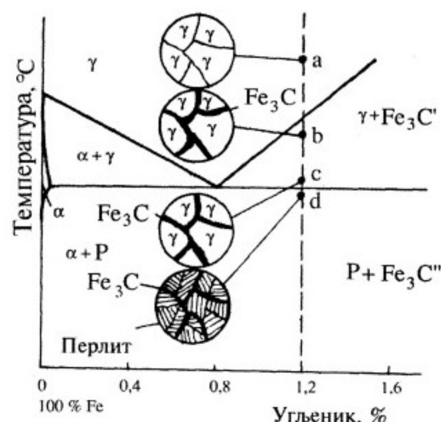
U odnosu na eutektoidnu tačku, čelici se dijele na :

- podeutektoidne čelike, sa sadržajem ugljika od 0,025 % do 0,8%, čija se struktura sastoji od ferita i perlita,
- eutektoidni čelik, sa sadržajem ugljika od 0,8% čija se struktura sastoji od 100% perlita,
- nadeutektoidne čelike, sa sadržajem ugljika od 0,8 % do 2,0 %, čija se struktura sastoji od perlita i sekundarnog cementita. Struktura podeutektoidnog čelika bilo kog sastava (npr. 0,4%C) može se analizirati ako se posmatra hlađenje austenita od tačke a do tačke d na slici 34. Hlađenjem od tačke a do tačke b formita se ferit na granicama austenitnih zrna. Daljim hlađenjem, od tačke b do tačke c količina ferita se povećava. Na eutektoidnoj temperaturi preostali austenit sa 0,8 % C se transformiše u perlit, tako da je struktura podeutektoidnog čelika odmah ispod eutektoidne temperature (tačka d) perlitno-feritna i ostaje stabilna do sobne temperature, (slika 34.).

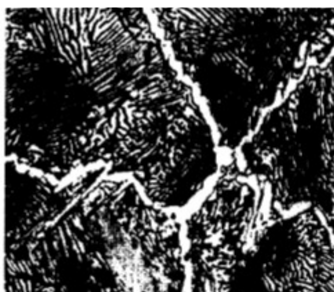



***Slika 34. Šematski prikaz obrazovanja strukture podeutektoidnog čelika)***

Struktura nadeutektoidnog čelika bilo kog sastava (npr.1,2%C) može se analizirati ako se posmatra hlađenje austenita od tačke a do tačke d, kao na donjoj slici (a.). Hlađenjem od tačke a do tačke b formita se cementit na granicama austenitnih zrna. Daljim hlađenjem od tačke b do c, količina cementita na granicama austenitnih zrna raste.Na temperaturi nešto ispod eutektoidne, (tačka d), preostali austenit se transformiše u perlit prema eutektoidnoj reakciji. Na slikama 35. i 36. prikazana je mikrostruktura nadeutektoidnog čelika sa 1,2%C.




***Slika 35.Šematski prikaz obrazovanja strukture nadeutektoidnog čelika***



***1%HNO$_3$ X1000***

***Slika 36. Cementit po granicama perlitnog zrna***

Čelik je legura željeza i ugljika sa njegovim sadržajem obično u rasponu od 0,02% do 6,5%. Ugljikovi atomi se nalaze u intersticijskim položajima kristalne rešetke željeza, koji imaju različite veličine pa prisutnost atoma ugljika na određenom položaju uzrokuje nejednake deformacije rešetke i odgovarajuća naprezanja. Vrlo često i drugi metali poput kroma (Cr), kobalta (CO), mangana (Mn), itd. koji su takođe legirani mijenjaju dimenziju kristalne rešetke i svojstva čelika.

Na sobnoj temperaturi i do 911°C čisto željezo kristalizira u obliku kubne volumski centrirane rešetke (α-željezo), pod nazivom ferit. Na višoj temperaturi između 911 ° C i 1392 ° C postoji površinski centrirana kubna rešetka (γ-željezo), pod nazivom austenit. Iznad 1392 ° C čelik ponovo formira na malom rasponu volumski centriranu kubnu rešetku

koja se zove δ-željezo ili δ-ferit. Ovisno o konfiguraciji rešetke, ugljik se nalazi u tetraedarskom ili u oktaedarskom intersticijskom položajaju željezne rešetke. Veličina i deformacija rešetke je drugačija. Uz višu deformaciju, čelik postaje čvršći.

Hlađenje rastopa i čvrstog čelika polako rezultira faznim transformacijama, usljed kojih nastaje austenit, ferit ili miješane faze. U toku faznih transformacija, atomi ugljika pokušavaju migrirati na energetski najpovoljnija mjesta rešetke. Kapacitet željezne rešetke za rastvaranje atoma ugljika je ograničen, a kada se postigne maksimalna topljivost ugljika u željezu u toku hlađenja, počinje izdvajanje cementita ili perlita. Cementit je željezni karbid $Fe_3C$, dok je perlit mješavina cementita i ferita. Ako čelik ima veći sadržaj ugljika, ledeburit se sastoji od smjese austenita i cementita. Različite faze nastale sporim hlađenjem su opisane faznim dijagramom željezo-ugljik, (slika 33.).

Apsolutno čisto željezo se mijenja iz α-faze (koja ima BCC rešetkuu) u FCC γ - fazu tik ispod 1200 K. Oko 1700 K mijenja se u BCC δ –faza; a na 1800 K, neki se tope. β - ferit je jednostavno nemagnetski – α –ferit.

Ispod (723°C) = željezo ne može "raspustiti" sve C i imamo neku mješavinu željeza i $Fe_3C$. Iznad 996 K, međutim, γ -faza može sadržavati vrlo malo C u krutoj otopini do maksimalno 2% na 1403 K (1130 $^{o}$C). Na oko 0,8% C, imamo eutektoidni sastav na temperaturi od 966 K, i oko 4,5% imamo pravi eutektički sastav na 1403 K. Dijagram se odnosi samo na oko 6,7%C. Legure sa većom koncentracijom C nemaju tehmičkog značaja i one nisu obuhvaćene na Fe – $Fe_3C$ dijagramu, jer je na 6,7% masenog udjela. Najvažnije faze imaju (stara) imena; to su:

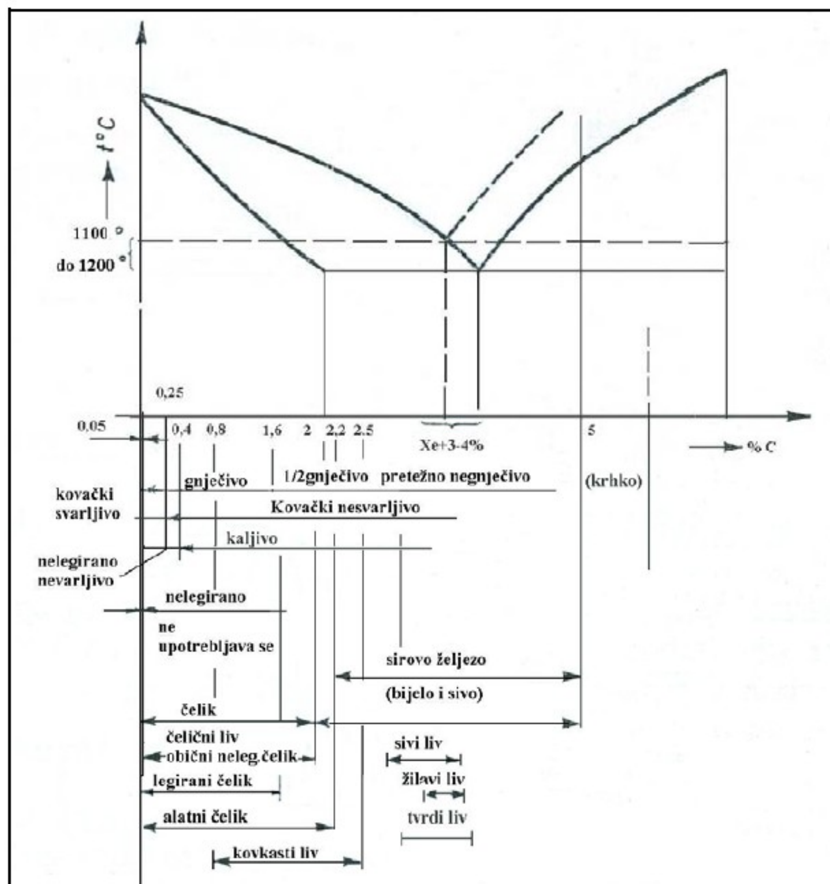
**Cementit** (njemački: "Zementit") - stehiometrijski faza $Fe_3C$. To je spoj s kompliciranom rešetkom, vrlo je težak i krhak.

**Ferit** (njemački: "Ferrit") - faza s BCC rešetkom. Preciznije se naziva - alfa ferit.

**Austenit** (njemački "Austenit") – γ-faza s FCC rešetkom. Uprkos mnogim prednostima koje daje dijagram stanja Fe-$Fe_3C$, u svakodnevnoj praksi se dešavaju mnoge promjene u čeliku, a koje se ne mogu objasniti ovim dijagramom kao na primjer: podhlađenje, nedostatak nukleacije, neravnotežni uslovi, što ni malo ne umanjuje njegovu važnost u svakodnevnoj, metalografskoj i praksi termičke obrade sve do danas.

## 5.2.Podjela željeznih legura prema dijagramu Fe-$Fe_3$C

Na slici 37, se vidi pregled podjele legura željeza i ugljika, povezan sa Fe-C (Fe-$Fe_3$C) dijagramom stanja.



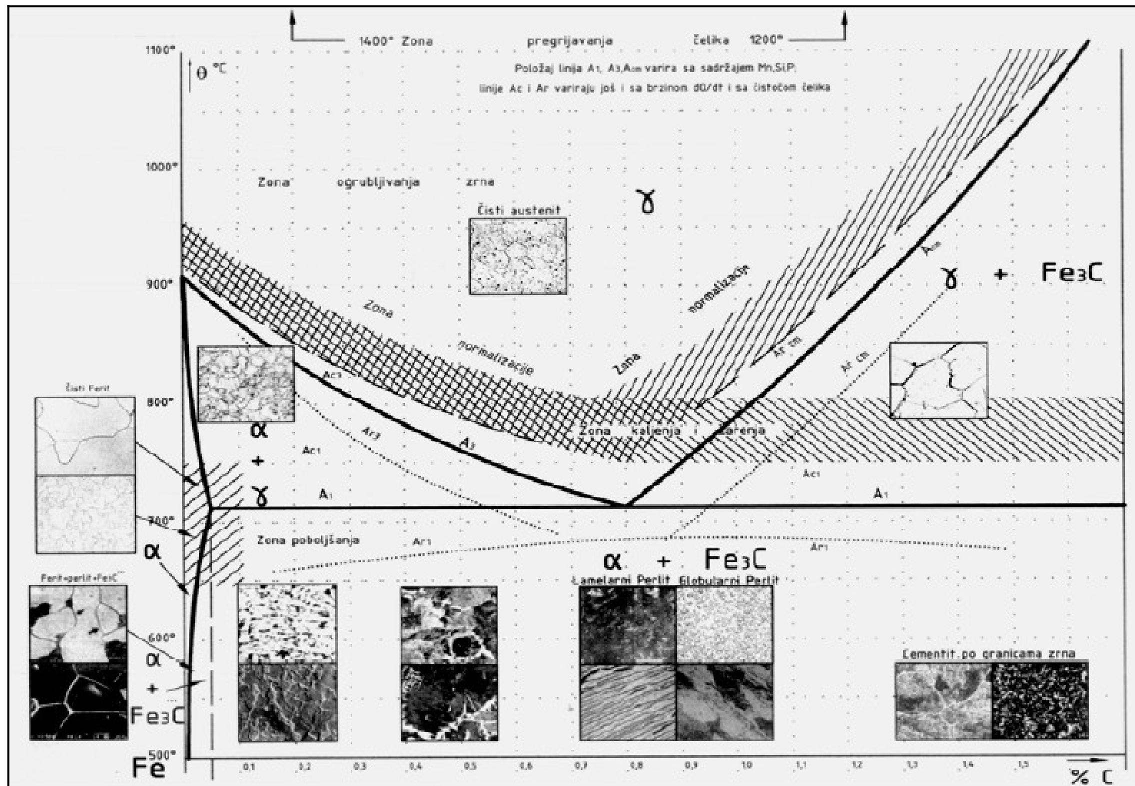

***Slika 37. Područja željeznih legura prema dijagramu Fe-$Fe_3$ C (Fe-FeC)***

Kao što se vidi iz područja dijagrama stanja Fe-C, sa (slika 37.), na osobine legura željeza i ugljika najjače utiču mekani ferit (tvrdoća ispod 80HB), polumekani eutektoid-perlit (tvrdoća oko 180HB) i tvrdi, slobodni cementit (sekundarni, eutektički i primarni sa tvrdoćom višom od 800HB).

## 5.4. Dio dijagrama stanja Fe-$Fe_3$C značajan za termičku obradu

Rastvaranje ugljika u željezu je intersticijskog karaktera, pa se njegova rastvorljivost u željezu mijenja u zavisnosti od temperature i vrste kristalne rešetke, koja se također mijenja sa temperaturom. Osmond je primijetio da pri hlađenju, tačka transformacije $A_2$ leži nešto niže nego pri zagrijavanju. On je takođe ustanovio da temperatura transformacije zavisi od brzine zagrijavanja, pa je izveo zaključak da je teoretska temperatura za kritičnu tačku pri zagrijavanju i hlađenju ista. Međutim,

pošto polimorfna transformacija kao hemijska reakcija, stiče neku brzinu samo onda kada je sistem dovoljno udaljen od uslova ravnoteže, to se u praksi uvijek zapaža neko zakašnjenje vezano sa brzinom hlađenja ili zagrijavanja, čak i u tom slučaju kada je ova posljednja beznačajna. Mehl i Wells su istraživanjem potvrdili pravilo koje je postavio Osmond .




***Slika 38. Područje dijagrama stanja Fe-Fe$_3$ C za termičku obradu***

Dijagram stanja (slika 38.) uprkos izvjesnim nedostacima, ima veliki značaj za proučavanje procesa termičke obrade, uz poznavanje strukturnih promjena legura pri hlađenju i zagrijavanju.

Na kraju ovoga poglavlja može se još jednom navesti: eksperimentalni radovi na proučavanju promjena željeza i njegovih legura sa ugljikom, prilikom zagrijavanja i hlađenja, datiraju još od daleke 1869. godine kada je Mannesmann konstruisao dijagram koji se smatra pretečom dijagrama stanja Fe-C. Nakon toga, u toku stotridesetogodišnjeg perioda, objavljeno je više od pedeset dijagrama stanja Fe-C, prema raznim autorima, od kojih se neki zasnivaju na potpuno različitim podacima o temperaturama preobražaja i koncentraciji ugljika. Dijagram stanja Fe-C (Fe-Fe$_3$C), uprkos izvjesnim nedostacima, ima i danas veliki značaj za proučavanje procesa termičke obrade, uz poznavanje strukturnih promjena legura pri hlađenju i zagrijavanju i njihovih posljedica na mehaničke i druge osobine legura željeza i ugljika.

# 6. STRUKTURNI PREOBRAŽAJI AUSTENITA PRI KONTINUIRANOM ZAGRIJAVANJU I IZOTERMALNOM DRŽANJU

Strukture koje očekujemo po dijagramu stanja Fe-$Fe_3C$ nastaju samo onda kada legurama prilikom hlađenja dajemo dovoljno vremena da se uspostavi ravnoteža. Ako čelik ohladimo vrlo brzosa područja čvrstog rastvora do normalne sobne temperature promjeene se pomjeraju na niže temperature ili posve izostaju. Atomi ugljika ne mogu više izvršiti promjenu mjesta u kristalnoj rešetki i postići razmještaj kao u ravnotežnim uslovima. U već promijenjenoj mreži α-željeza, ostaje ugljik na pozicijama gdje nema pravog mjesta, tj. nekako u „prisilnom“ stanju. Ovo „prisilno“ stanje odražava sepovišenom tvrdoćom i predstavlja osnovu kaljenja.

U praksi se za postizanje željenih osobina čelika primjenjuju postupci koji pri termičkoj obradi obuhvataju i takva stanja koja su jako udaljena od ravnoteže, pa se ravnotežni dijagrami mogu da koriste samo u ograničenoj mjeri. Njihova primjena se svodi na utvrđivanje temperature na kojoj se postiže austenitna struktura kao i na predskazivanje struktura koje će se dobiti u slučaju ravnotežnih promjena uz određen sastav i strukturu.

Ako se čelici zagriju do austenitnog područja i zatim zakale nastaje karakteristična struktura –martenzit. Kod čistih ugljičnih čelika, austenitni čvrsti rastvor se ne može zadržati neizmjenjen pri kaljenju, pa se dugo vremena mislilo da se sav austenit pri kaljenju pretvara u martenzit za koji se utvrdilo da je karakteristični, tvrdi mikrokonstituent u zakaljenim čelicima. Kasnije se raznim metodama ispitivanja, ustanovilo da da takve strukture mogu da sadržei izvjesne količine **zaostalog austenita.**

U legiranim čelicima koji sadrže elemente koji proširuju γ-područje, razlaganje austenita razlaganje austenita se može zadržati tj. u znatnoj mjeri usporiti, pa čak i pri kaljenju zadržati i sam austenit. Ako se uslovi kaljenja mijenjaju, tako da se čelik hladi sporije, pronađeno je da on postaje mekši i da sadrži određene mikrokonstituente, koji se mogu da definišu s pogodnim sredstvom za nagrizanje. Ako, zbog jednostavnosti posmatramo čelik sa tačno eutektoidnim sastavom, perlitna struktura se

dobija sporim hlađenjem, dok pri vrlo brzom hlađenju nastaje martenzit sa nešto zaostalog austenita. Pri manjoj brzini hlađenja od one pri direktnom kaljenju dobijaju se mikrokonstituentikoje se prema starijoj terminologiji nazivaju trustitom i sorbitom. Prema tome, poredano od najveće ka sve manjoj brzini hlađenja dobio bi se sljedeći niz struktura: zaostali austenit, martenzit sa izvjesnim dijelom zaostalog austenita, trustit, sorbit i perlit.

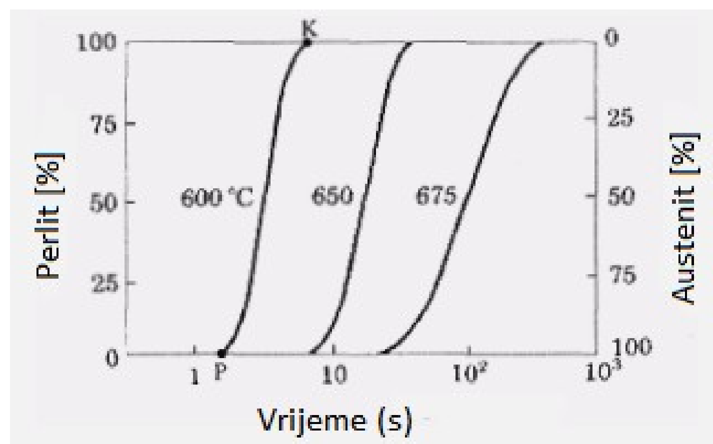
## 6.1. Kinetika probražaja i osnove TTT-dijagrama

Istraživanje zavisnosti brzine strukturnih probražaja od temperature, predstavlja u u osnovi razvoj TTT dijagrama, koji u modernoj termičkoj obradi imaju veliku važnost.

### 6.1.1. Razlaganje austenita

Austenit se pri vrlo maloj brzini hlađenja transformira na $A_{r1}$ tački u eutektoid perlit, koji se sastoji iz ferita i cementita (kao što je već ranije rečeno). Međutim, pri vrlo velikoj brzini hlađenja na $M_s$ tački nastaje struktura kaljenja – martenzit. Brzine hlađenja koje leže između ova dva ekstremna slučaja izazivaju pojavu drugih vrsta strukture.

Najbolji pregled karakteristika transformacije austenita daje dijagram izotermalnog razlaganja tj. IR-dijagram koji su prvi put prikazali E.C. Bain i E.S. Davenport. Da bi se konstruisao jedan ovakav dijagram uzorci malih dimenzija kale se iz austenitne oblasti u rastopu metala ili soli čija je temperatura niža od $A_1$ tačke i drže na konstantnoj temperaturi duže vremena. Kriva razlaganja austenita na datoj temperaturi ispitivanja (tj. procentualna količina transformiranog austenita u zavisnosti od vremena držanja) može se odrediti na različite načine: na primjer dilatometrijski ili magnetometrijski. Slika 39. pokazuje krive transformacije za eutektoidni čelik na temperaturama: $600^0$ C; $650^0$ C i $675^0$ C za koji krivulje preobražaja imaju oblik slova S.




***Slika 39. IR ili S krive razlaganja čelika eutektoidnog sastava***

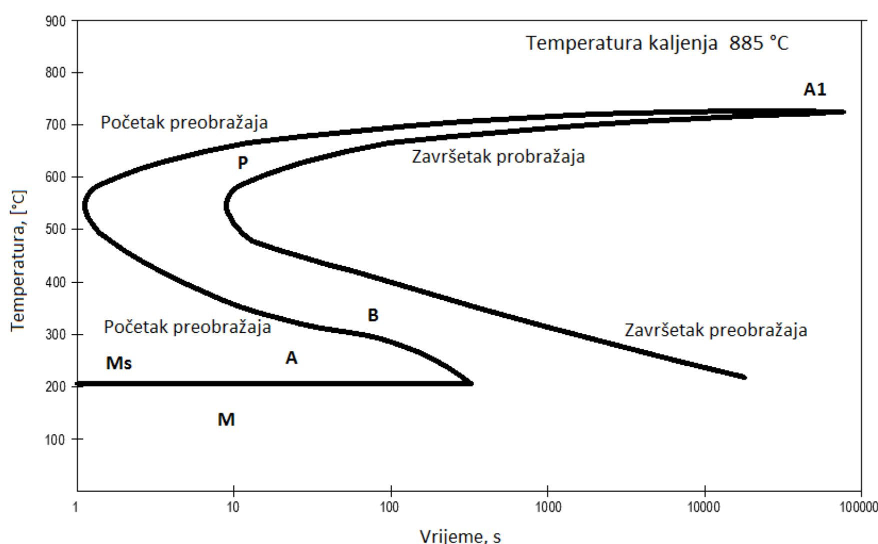
Iz tehničkih razloga početak transformacije austenita se definiše kao moment kada je transformisano 1% austenita, a završetak transformacije kao momenat kada je transformisano 99% austenita. (Tok transformacije može se pratiti i metalografski.) U tabeli 4 su prikazani rezultati izotermalne transformacije austenita čelika sastava: 0,98%C; 0,24%Si; 0,16%Mn; 0,008%P i 0,010% S, koji je austenitiziran 5 minuta na $900^0$ C i tada brzo prebačen u rastop olova na $700^0$ C. Eksperimentalno je dokazano da je austenit na $700^0$ C postojan oko 4 minute. Tada razlaganje lagano počinje, ubrzava se i ponovo postepeno prekida.

***Tabela 4. Rezultati izotermalne transformacije austenita čelika C100 sastava: 0,98%C; 0,24%Si; 0,16%Mn; 0,008%P i 0,010% S***

| **Temp. [$^0$ C]** | **Transformacija** | | **Nastala mikrostruktura** | **Tvrdoća [HRC]** |
|---|---|---|---|---|
| | **Početak** | **Završetak** | | |
| 700 | 4,2 min | 22 min | Perlit | 15 |
| 600 | 1s | 10s | Sorbit | 40 |
| 500 | 1s | 10s | Trustit | 44 |
| 400 | 4s | 2min | Beinit (+ trustit) | 43 |
| 300 | 1min | 30min | Beinit | 53 |
| 200 | 15min | 15h | Beinit | 60 |
| 100 | - | - | Martenzit | 64 |
| 0 | - | - | Martenzit | 66 |

Ako se početak i kraj transformacije austenita na pojedinim temperaturama (tabela 4.) unesu u dijagram na čijoj je ordinati nanesena temperatura transformacije, a na apscisi vrijeme transformacije austenita u logaritamskoj razmjeri, dobija se IR-dijagram kao na slici 40. Gornja granična linija kod ovog dijagrama predstavlja eutektoidni probražaj, $A_1$ tačku =$720^0$ C, a donja granična linija – martenzitnu tačku, Ms = $180^0$ C. Vremena početka transformacije austenita leže na lijevoj krivoj, a

završetka transformacije austenita na desnoj krivoj. Lijevo od prve krive nalazi se područje postojanosti austenita, a desno od druge krive naznačene su mikrostrukture nastaju pri transformaciji. Unutar šrafiranog područja dolazi do transformacije austenita. (Na desnoj ordinati, obično se nanosi tvrdoća mikrostruktura koje nastaju pri transformaciji u RC jedinicama.) Radi potpunosti u dijagramu se može ucrtati i kriva početka izdvajanja sekundarnog cementita, što nije prikazano u slučaju dijagrama na slici 40.)




***Slika 40. Izotermalni dijagram za nelegirani čelik eutektoidnog sastava***

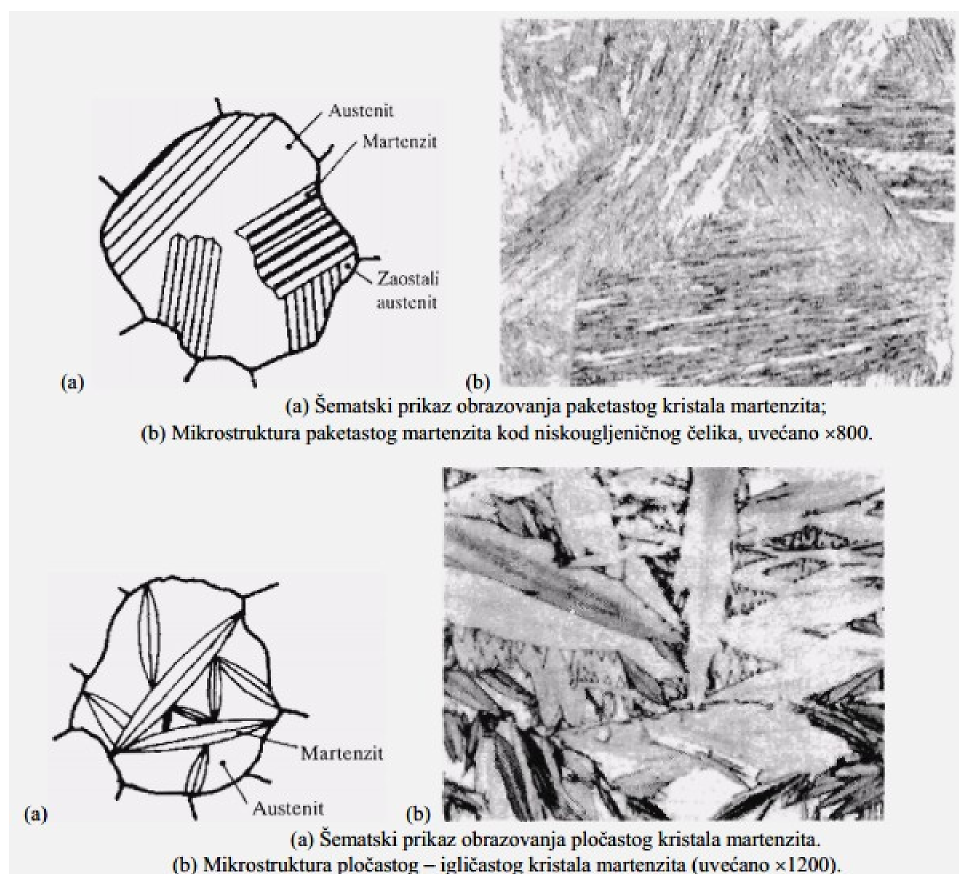
Pri tehnički važnim postupcima termičke obrade, na primjer pri normalizaciji i kaljenju čelik se kontinuirano hladi iz austenitnog područja; tako dolazi do hlađenja u peći ili na vazduhu, odnosno do kaljenja u ulji ili vodi. Austenit se tada ne transformira na određenoj, konstantnoj teemperaturi, već se preobražaj pruža preko više ili manje “razvučenog” temperaturnog intervala. Zbog toga se u tako tretiranim čelicima mogu jednovremeno javiti strukture karakteristične za različite oblasti podhlađivanja: tako na primjer, perlit pored beinita, martenzit pored beinita ili čak perlit + beinit + martenzit. Dijagrami izotermalnog razlaganja nisu pogodni za kvantitativno opisivanje preobražajnih procesa pri kontinuiranom hlađenju.

## 6.2. TTT – dijagrami izotermalnog tipa

Izotermalni TTT – dijagrami predstavljaju pregled međufaznih odnosa preobražaja, temperature, vremena i nastale strukture pri konstantnoj temperaturi tj. kod izotermalnih uslova. Uslovi izotermalnog preobražaja se postižu brzim hlađenjem čelika iz austenitnog područja do određene temperature i držanjem na ovoj temperaturi do završetka preobražaja. Ohlađivanje i zatim držanje vrši se obično u solnim ili metalnim kupkama na određenoj temperaturi. Austenit se pri tome podhladi do temperature kupke i ostaje nepromijenjen neko određeno vrijeme, koje zavisi od hemijskog sastava čelika i temperature kupke. Podhlađeni austenit nekih

čelika na određenim temperaturama je vrlo nestabilan i počinje se raspadati već u nekoliko djelića sekunde, dok na drugim temperaturama može ostati nepromijenjen relativno dugo vremena.

Izlučivanje martenzita počinje na Ms – tački i produžava se samo ako temperatura i dalje opada, količina martenzita koji se stvori pri konstantnoj temperaturi je mala i nema praktično nikakav značaj. Zapaženo je da i pri održavanju konstantne temperature ispod Ms tačke dolazi do izduženja uzorka, što odgovara beinitnoj transformaciji koja se kod većine čelika produžava u martenzitnu oblast. Slika 41 pokazuje šematske prikaze martenzita i njegove mikrostrukture.




***Slika 41. Šematski prikazi obrazovanja martenzita i njegova mikrostruktura***

U dijagramu izotermalnog toka transformacije ne može se opisati principijelno obrazovanje martenzita. Postoji mogućnost da se odredi temperatura Ms – tačke i progresivno obrazovanje martenzita pri opadanju temperature.

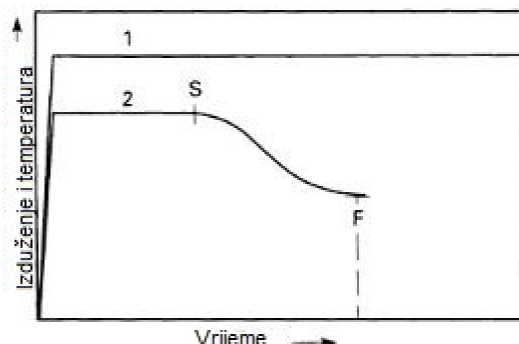
Ova vrsta dijagrama pokazuje šta se dešava kada se čelik održava duži period na konstantnoj temperaturi. Razvoj mikrostrukture s vremenom, može se pratiti držanjem malih uzoraka u olovu ili solnim kadama i brzim hlađenjem jednog po jednog, nakon povećanja vremena držanja i mikroskopskim mjerenjem količine faza formiranih u mikrostrukturi.

Alternativna metoda, uključuje korištenje samo jednog uzorka i dilatometra koji snima izduženje uzorka kao funkcije vremena. Osnova za dilatometrijsku metodu su različite promjene zapremine mikrokonstituenata, tabela 5.

***Tabela 5. Volumenske promjene zbog različitih transformacija***

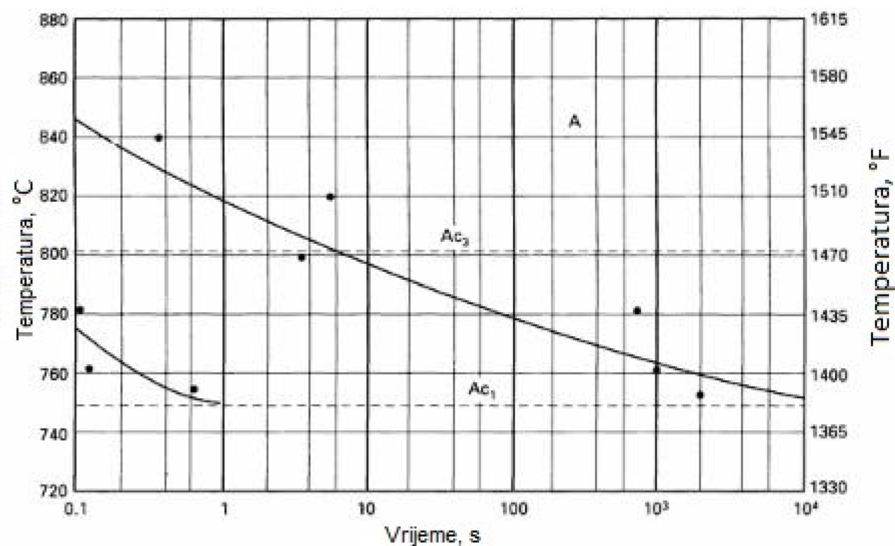
| | |
|---|---|
| Austenit – donji beinit | 4,64 – 1,43 x (%C) |
| Austenit – gornji beinit | 4,64 – 2,21 x (% C) |

Prilikom formiranja austenita iz izvornih mikrostruktura ferita i perlita ili kaljenog martenzita, volumen (a time i dužina) smanjuje se formiranjem guste austenitne faze. Iz krive istezanja, na početku i kraju vremena za formiranje austenita, obično se definiše kao 1% i 99% transformacije, odnosno, mogu biti izvedeni. Ova vremena se zatim ucrtavaju na vrijeme temperatura-log dijagram. Također u ovom dijagramu su iscrtani AC1 i AC3 temperature. Ispod AC1 austenit se može formirati, a između Ac1 i Ac3 krajnji proizvod je mješavina ferita i austenita. Pažnja treba biti obraćena na to da je značajno pregrijavanja potrebno da se završi transformacija u kratkom vremenu. Izvorna mikrostruktura također igra važnu ulogu. Sitno distribuirana struktura poput kaljenog martenzita se brže pretvara u austenit nego, na primjer, feritno - perlitnu strukturu, a šematski prikaz formiranja perlita iz austenita dat je na slici 103. To se posebno odnosi na legirane čelike sa karbidno-formiranim legirajući, elemenata kao što su krom i molibden. Važno je da brzina zagrijavanja držanja temperature bude vrlo visoka, ako se izotermalni dijagram želi dobiti.

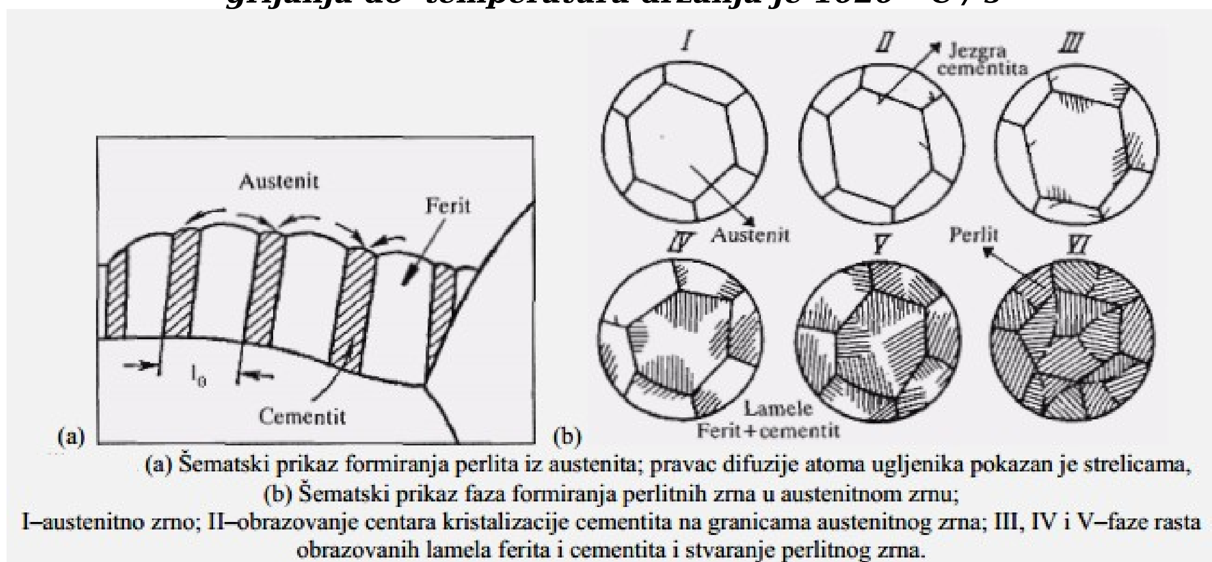



***Slika 101. Postupak za određivanje Izotermalno zagrijavajućih IT dijagrama.***

Na slici 101 je: Linija 1: Temperatura u odnosu na vrijeme. Linija 2: Istezanje u odnosu na vrijeme. S predstavlja početak i F kraj transformacije izvorne mikrostrukture do austenitne transformacije, respektivno.




***Slika 42. Izotermalni zagrijavajući dijagram za AISI 4140 čelik. Brzina grijanja do temperatura držanja je 1020 ° C / s***

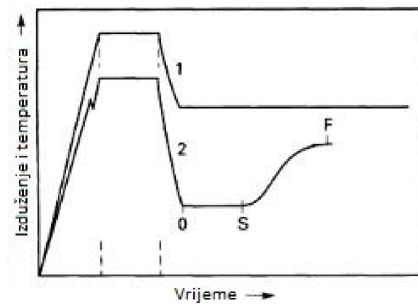



(a) Šematski prikaz formiranja perlita iz austenita; pravac difuzije atoma ugljenika pokazan je strelicama,
(b) Šematski prikaz faza formiranja perlitnih zrna u austenitnom zrnu;
I–austenitno zrno; II–obrazovanje centara kristalizacije cementita na granicama austenitnog zrna; III, IV i V–faze rasta obrazovanih lamela ferita i cementita i stvaranje perlitnog zrna.

***Slika 43. Formiranje perlita iz austenita***

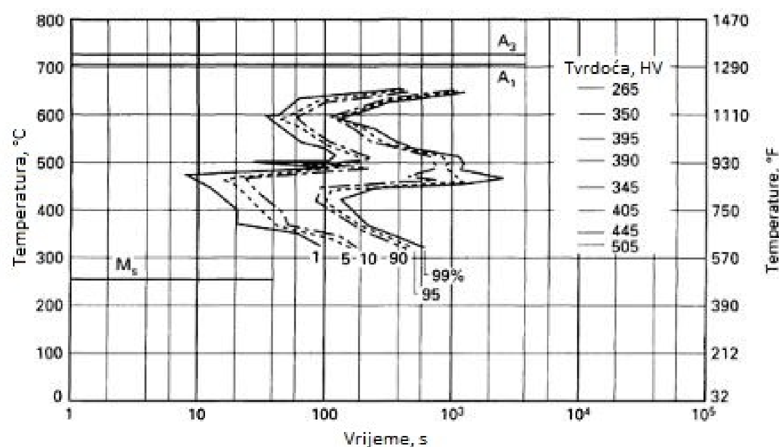
- Primjeri IT dijagrama – raspadanja austenita

IT dijagram nije tako čest kao dijagrami izotermalnog hlađenja. Dijagrami zagrijavanja su korisni u kratkom vremenu kao što je termička obrada indukcijom i lasersko kaljenje. Postupak počinje na visokoj temperaturi, obično u austenitnom području nakon dovoljno dugog držanja, da se dobije homogeni austenit bez nerazlučenih karbida, praćen brzim hlađenjem na željenu temperaturu držanja. Primjer IT dijagrama je dat na slici 44. Hlađenje je počelo od 850°C (1560 ° F). $A_1$ i $A_3$ temperature označene su kao i tvrdoće. Iznad $A_3$ ne može doći do transformacije.



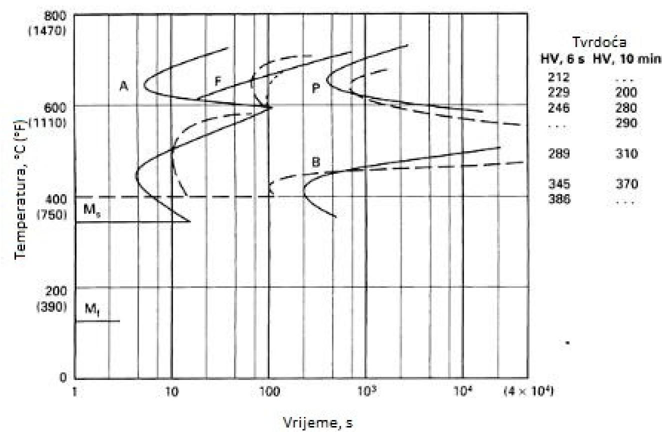

***Slika 44. Određivanje izotermnog hlađenja (IT) dijagramima***

Na slici 44 je:
Linija 1: Temperatura u odnosu na vrijeme,
Linija 2: Istezanje u odnosu na vrijeme,
S predstavlja početak i F kraj austenitnog raspadanja.




***Slika 45. Izotermni dijagram transformacije za čelik sa 0,39% C, 0,86% Mn, 0,72% Cr, 0,97%Ni***

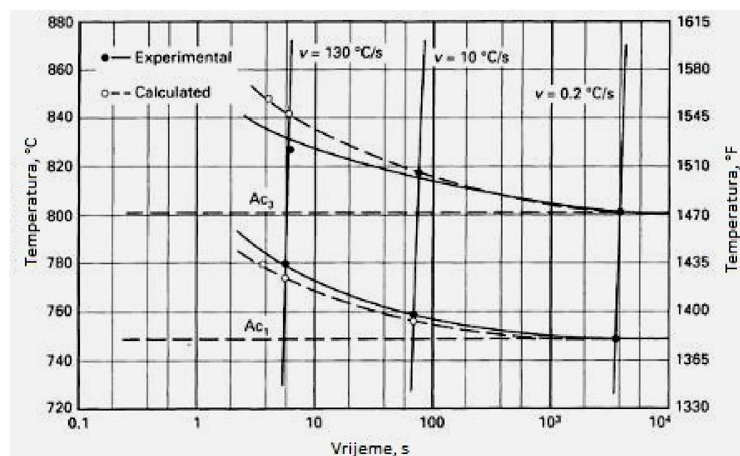
Na slici 45. gornji oblik krive opisuje transformaciju perlita, a donji dio krive transformaciju beinita. Ferit nije vidljiv. Kolona na desnoj strani slike označava tvrdoću, nakon završene transformacije mjerene na sobnoj temperature. Na slici 46, prikazan je IT dijagram dobijen poslije 6 sekundi austenitizacije na 950°C (puna linija), u poređenju sa IT dijagramom, poslije 10 minuta austenitizacije na 860°C (isprekidana linija). Pomak može biti zbog nepotpunog raspada karbida ili manje veličine zrna nakon kratkog vremena austenitizacije. Na dijagramu su takođe date vrijednost tvrdoće za oba slučaja (desna ordinata).




***Slika 46. IT dijagram hlađenja za AISI Č-4140***

## 6.2. CHT- dijagrami kontinuiranog zagrijavanja

U praktičnim situacijama termičke obrade, nije potrebna konstantna temperatura, već kontinuirano mijenjanje temperature tokom ili hlađenja ili zagrijavanja. Stoga, se više potrebnih informacija dobija primjenom dilatometrijskih metoda koje se zasnivaju na kontinuiranom povećavanju ili smanjivanju temperature. Slika 45 prikazuje primjer kontinuiranog grijanja čelika AISI 4140 (prikazane $Ac_1$ i $Ac_3$ imaju primjenu kao i ranije). Dijagram je izveden s konstantnim stopama zagrijavanja i krivama za 130°C/s, 10°C/s i 0,2°C/s. Vidljivo je da su početak i kraj transformacije kasniji u odnosu na izotermni dijagram. To je uglavnom istina, kada se upoređuje jedan izotermni i kontinuirani dijagram, bez obzira na to da li su za grijanje ili hlađenje.

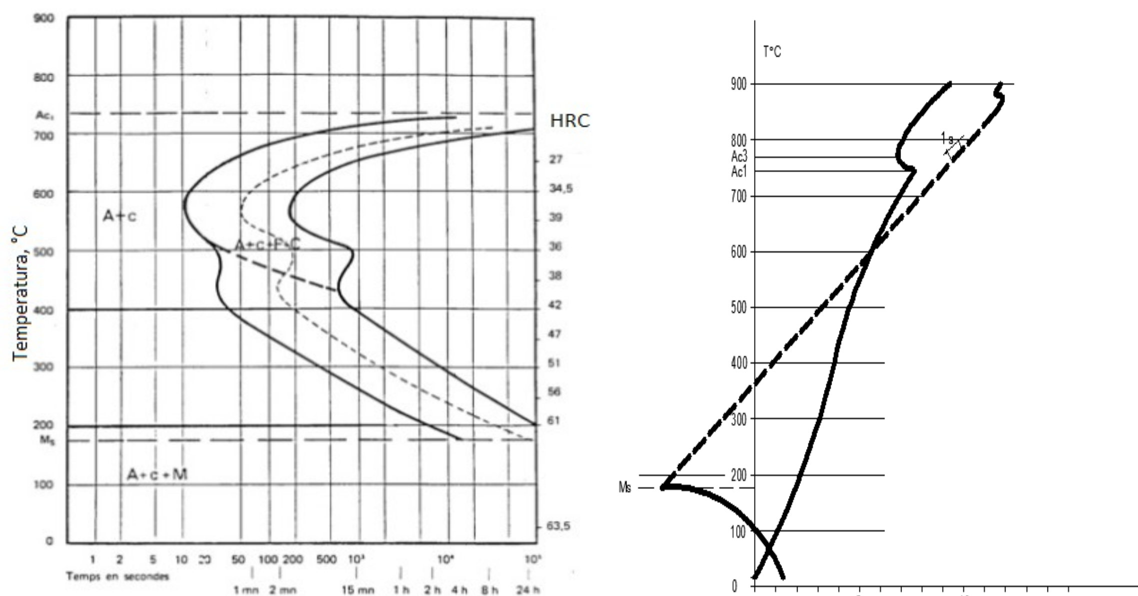



***Slika 47. Dijagram transformacije kontinuiranog zagrijavanja za AISI Č.4140. formirana faza je austenit***

Kao ITH dijagrami, i CHT dijagrami su korisni u predviđanju efekata kratkotrajnog vremena austenitizacije, koja se javlja kod indukcije i laserskog otvrdnjavanja. Previsoka temperatura može izazvati neželjeni rast austenitrnog zrna koje prouzrokuje gruboigličastu, krtu martenzitnu mikrostrukturu.

## 6.4. Snimanje i konstrukcija izotermalnog TTT – dijagrama

Izrada izotermalnih dijagrama zasniva se na eksperimentalnom određivanju toka transformacije u podhlađenom austenitu, kod konstantne temperature.
Za konstrukciju jednog izotermalnog dijagrama potrebno je probližno 10 dilatometrijskih uzoraka. Uzorci koji se koriste za dilatometar za kaljenje „Ditirc“, su cjevasti φ4x30mm sa unutrašnjim promjerom φ2,6mm. Glavna operacija je određivanje kritične brzine hlađenja i Ms temperature. Kritična brzina hlađenja je najmanja brzina hlađenja čelika, koja omogućava prvu pojavu martenzita u strukturi.Određivanjem kritične brzine hlađenja određujemo uslove pri kojima ćemo hladiti uzorak od temperature austenitizacije pa do temperature izotermalnog držanja. Uzorke držimo na temperaturi iznad Ms tačke i to u razmaku od po 50°C sve do $Ac_3$ temperature. Dilatometar registruje momenat kada se transformiše 3% austenita.
Sa dilatometrijske krive očita se početak i kraj transformacije na konkretnim temperaturama i temperature seunose u dijagram „vrijeme – temperatura“ u kojem apscisa sa logaritamskom podjelom predstavlja vremensku, a ordinata sa linearnom podjelom, temperaturnu koordinatu. Spajanjem tačaka koje predstavljaju početak i onih koje označavaju kraj transformacije dobijaju se linije dijagrama.
Ukoliko se za početak transformacije uzima trenutak kada se transformira 1% ukupne količine, tada se indikacije početka transformacije određuju mnogo osjetljivijom metodom ispitivanja strukture. Za ova se ispitivanja koriste pločice debiljine 1mm.
Na svakom uzorku se, nakon izotermalnog držanja, ispituje struktura i tvrdoća. Vrijednosti tvrdoće nanose se za konkretnu temperaturu iza linije koja označava kraj transformacije, a strukture se obično prilažu na posebnom listu.Jedno konkretno određivanje prikazano je na primjeru čelika Č.4146. Na slici 13 prikazan je izotermalni dijagram navedenog čelika. Temperatura austenitizacije iznosi 900°C.

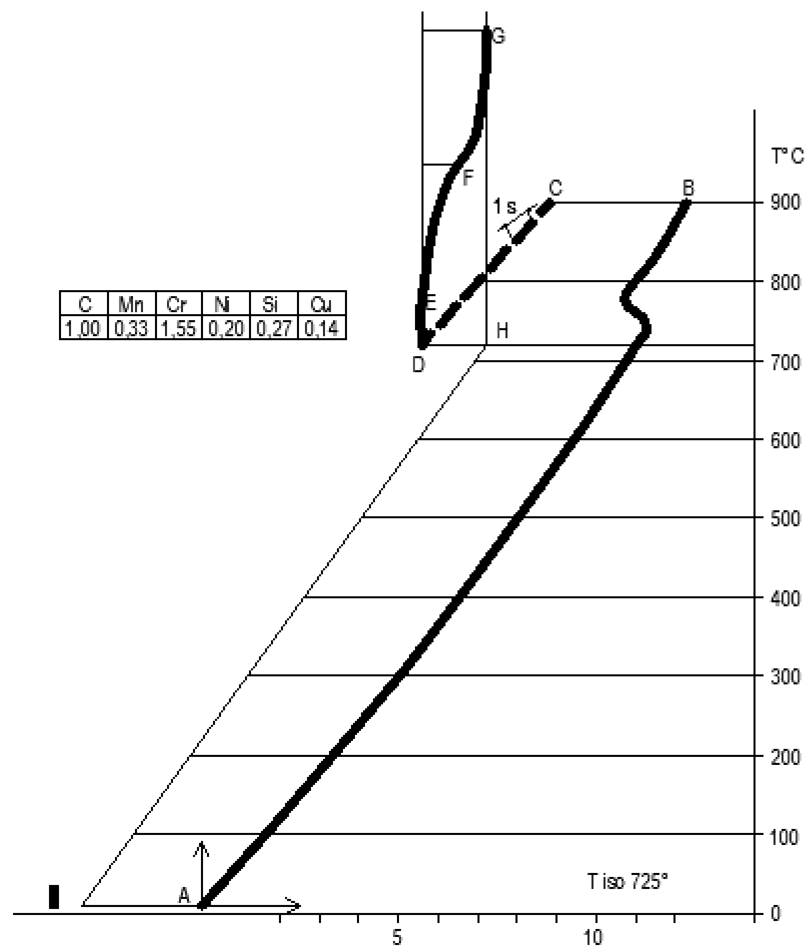


***Slika 49. Izotermalni dijagram za Č.4146 (temperatura austenitizacije 900°C)***

Prvo ispitana dilatometrijska kriva dobijena je  pri hlađenju uzorka na zraku. Time je određena temperaturna Ms koja iznosi 185°C. Period traje 42 sec.

Nakon postizanja temperature austenitizacije proba (uzorak) se prvo kali u struji vazduha, sve dok njena temperatura ne dostigne nekoliko desetina stepeni više od temperature izotermičke kupke. Zatim se proba uranja u kupku za izotermičko kaljenje. Date su samo četiri karakteristična primjera krivulje izotermičke transformacije.

Slika 40, pokazuje izgled krivulje perlitno - izotermalne transformacije registrovane na 725°C.

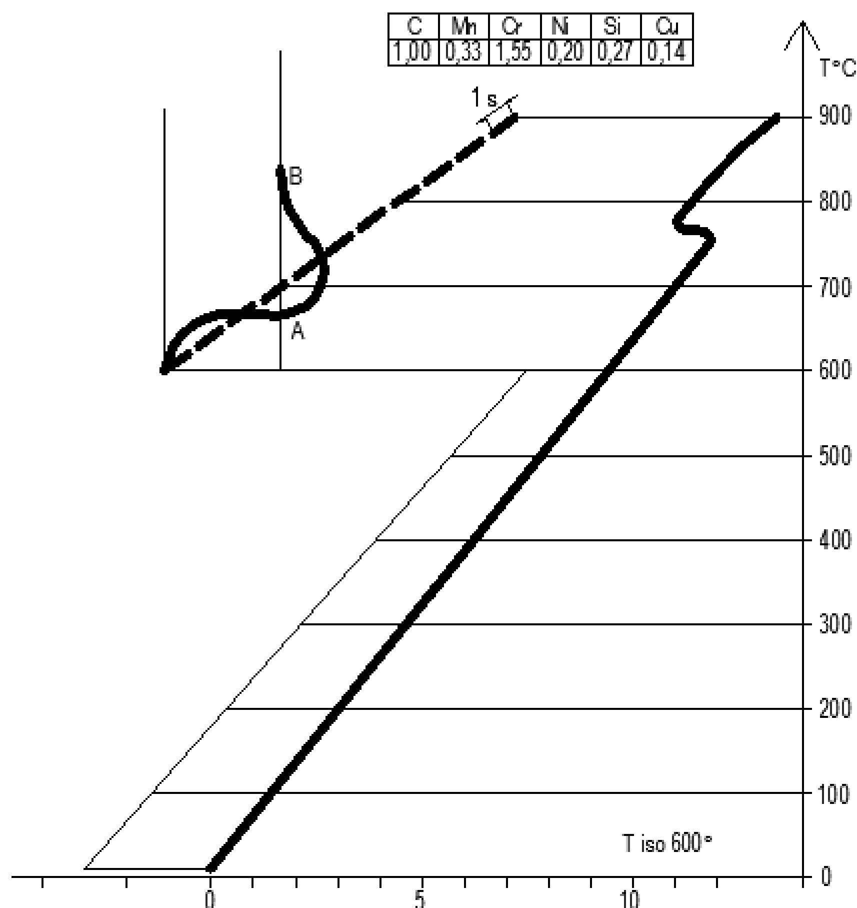



***Slika 40. Izotermno kaljenje na 725°C***

Na navednoj krivoj se razlikuje dio :

- Kriva grijanja AB sve do 900°C,
- Kriva kaljenja CD 900 - 725°C u uslovima
- Vrijeme izotermičke inkubacije DE
- Kriva izotermne transformacije EFG
- Kriva krajnjeg hlađenja, na kojoj se ne otkriva nikakva transformacija martenzitnog tipa

Slika 41, prikazuje izgled krivulje transformacije sa trusto – perlitičnim karakterom registrovanim na 600°C.



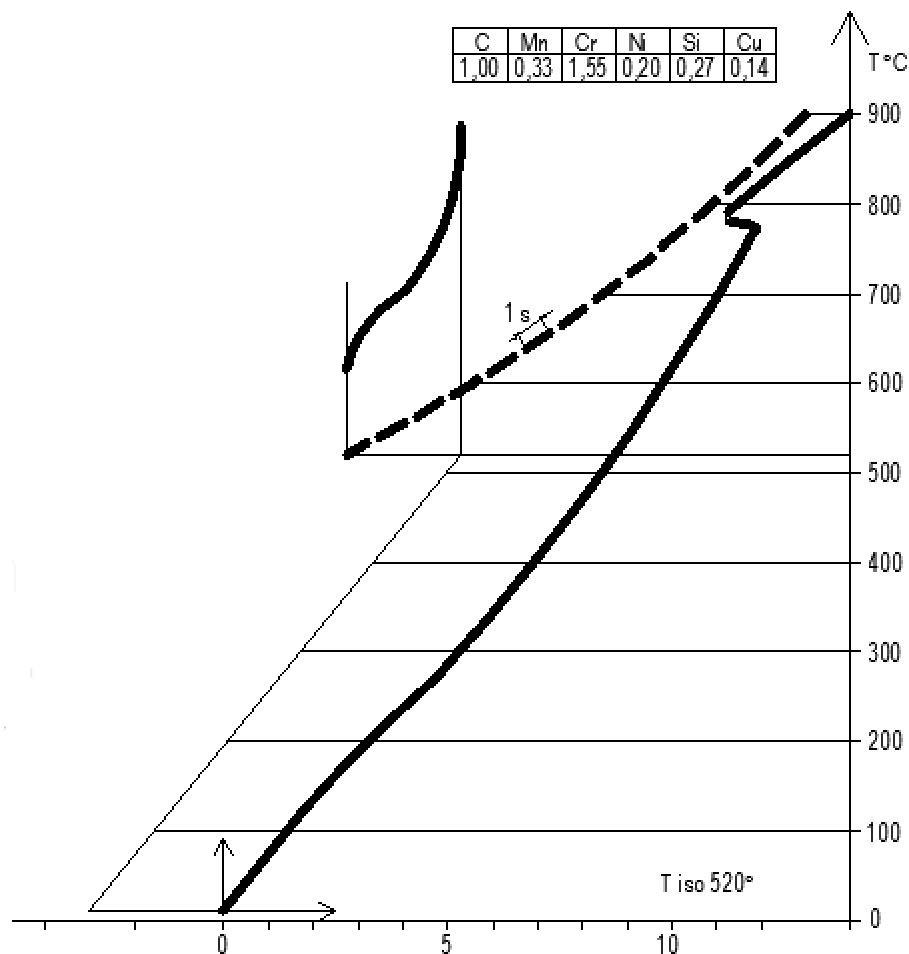

***Slika 41. Izotermno kaljenje na 600°C***

Ova krivulja se razlikuje od prethodne po sljedećem:

- U pogledu vrlo brze transformacije, računa se za vrijeme izotermalnog držanja, maksimalnim brzinama odmotavanja papira registratora,

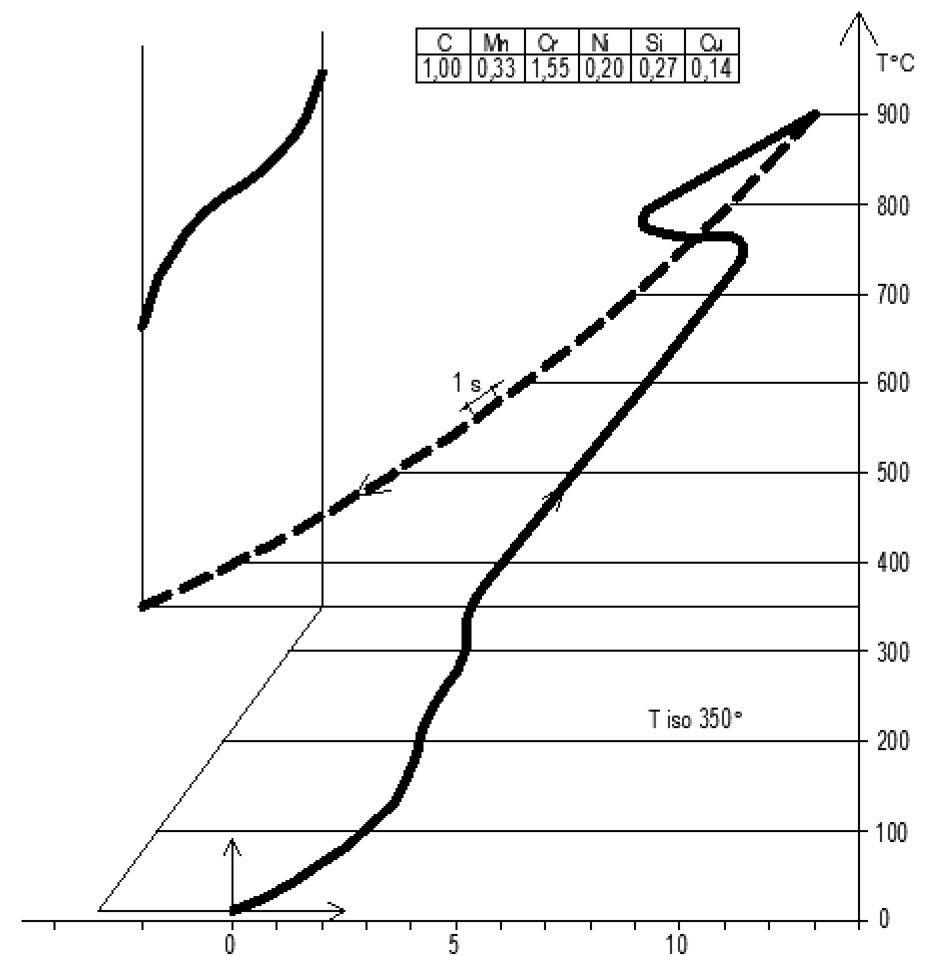
- Iz istog razloga, naglo stvaranje toplote uz transformaciju prouzrokuje prelazni porast temperature probe, što objašnjava dimenzionalnu anomaliju posmatranu između tačaka A i B.

Slika 42. pokazuje izgled krivulje transformacije trusto – beinitnog tipa registrovane na 520°C




***Slika 42. Izotermno kaljenje na 520°C***

Ta krivulja je bitno označena nesimetričnošću: brzina transformacije opada prije nego se 50% prvobitnog austenita transformiše.

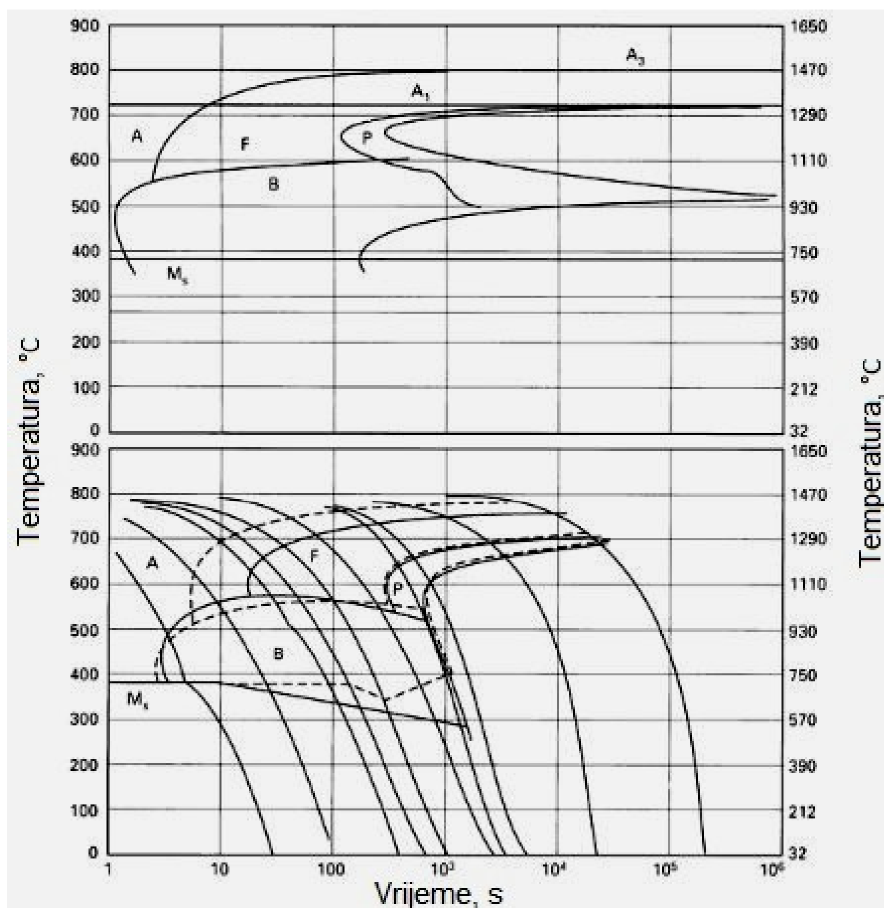



***Slika 43. Izotermno kaljenje na 350°C***

***Slika 43, pokazuje izgled krivulje transformacije beinitnog karaktera registrovane na 350°C***

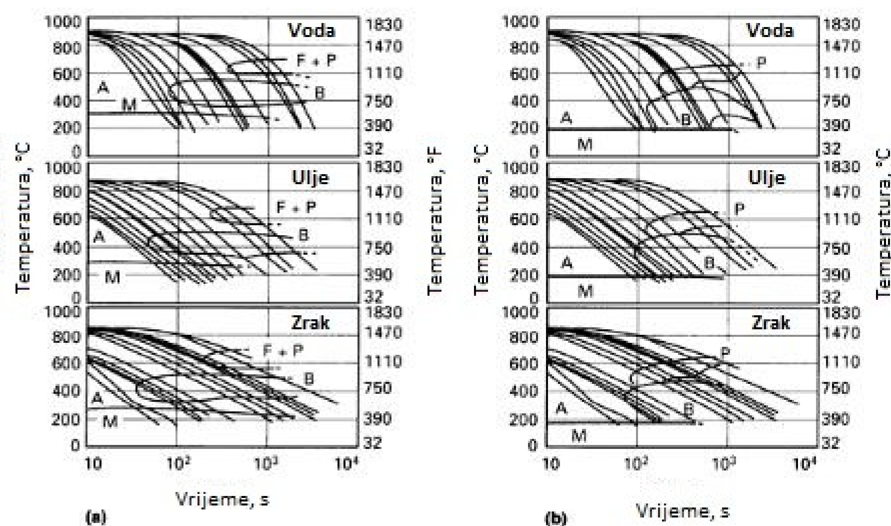
## 6.3. CTT dijagrami

Korištenje konstantne brzine hlađenja je najčešća eksperimentalna praksa. Krivulje simuliraju ponašanje u unutrašnjosti velikih dijelova kao kod brzina hlađenja po Jominy metodi, za neke udaljenost. Blizu površina karakterističnih za hlađenje, brzina može biti kompleksna. U donjem dijelu slike 10 je prikazan CCT dijagram (pune crtane linije) za Č.4130. Ferit, perlit i beinit su označeni sa Ms temperaturama. Ms temperatura nije konstantna kada martenzitno formiranje prethodi beinitnom formiranju.




***Slika 46. Izotermi dijagram transformacije (gornji) i CCT dijagram (donji) za AISI Č.4130 koji sadrži: 0,30%C, 0,64%Mn, 1,0%Cr, 0,24%Mo***.

IT dijagram ilustrira zastupljenost ulaznih podataka za izračune opisane u tekstu. U CTT dijagramima je izračunato (isprekidane linije) i eksperimentalno utvrđeno (pune linije).Učinak različitih krivih hlašenja je prikazan na Slici 11. Svaki CCT dijagram sadrži krive koje predstavljaju brzine hlađenja na različitim dubinama cilindra sa 300m prečnika. Najsporija brzina hlađenja predstavlja centar cilindra. Kao što pokazuje Slika 9, brzina hlađenja i položaj CCt krive zavise od hlađenja (voda proizvodi najveću brzinu hlađenja, zatim ulje i zrak). Ms temperatura je neuticajna.

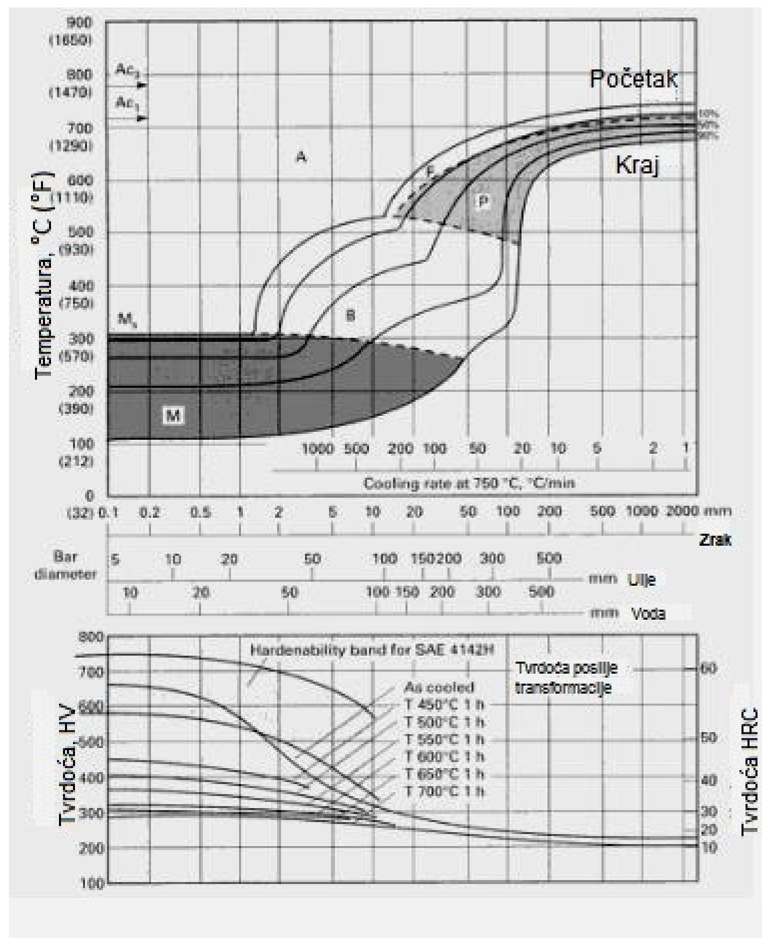



***Slika 47. Primjeri CCT dijagrama za nisko-legirane čelike***

Na slici 47. a) prikazani su CCT dijagrami za krom-molibden čelik koristeći krive za hlađenje vodom, uljem, zrakom.

Na slici 47.b) računarski proračunati CCT dijagrami za nikl-krom čelik sa sadržajem 0,7%C za hlađenje vodom, uljem i zrakom (Ms,) a zatim dogrijavanje na višu temperaturu će dati veću transformaciju nego što je to prikazani u IT dijagramima jer je u velikoj mjeri ubrzan proces kaljenja. Treba također imati na umu da su transformacijski dijagrami osjetljiviji na tečne legirajuće sadržaje unutar dozvoljenog sastava.

Razni pokušaji su napravljene kako bi se olakšalo korištenje CCT dijagrama uključujući učinak dimenzija komada i hlađenja na mikrostrukturu i dobijenu tvrdoću. Dva takva postupka opisali su Atkins i Theining. Krive hlađenja s se koristile u dilatometrijskim mjerenjima a temperaturna transformacija i rezultirajuće mikrostrukture, kao i tvrdoće su također napomenuti. Dijagram ovog tipa je prikazn na Slici 12. Iz dijagrama se može vidjeti da se uzorak promjera 2m hlađen na zraku odgovara promjeru 40m promjera hlađenog u ulju. U gornjem dijelu su prikazane količina i vrsta mikrostrukture, a u donjem dijelu tvrdoća nakon kaljenja i kaljenje na različitim temperaturama.



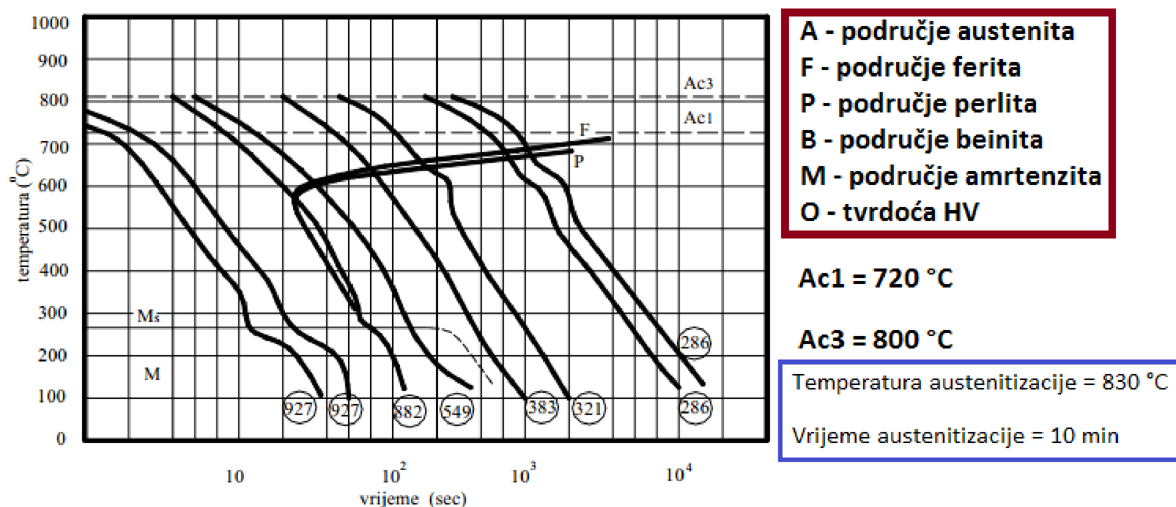

***Slika 48. CCT dijagram za AISI/SAE Č.4140-4142 sa 1,25Cr i 0,20Mo koji je austeniziran na 860°C***

Vertikalne linije u gornjem dijagramu na slici 48, daju brzine hlađenja za različite prečnike kada se kaljenje vrši u različitim medijima. U donjem dijelu slike prikazana je tvrdoća nakon kaljenja na različitim temperaturama.

## 6.5. Snimanje i konstrukcija kontinuiranih TTT – dijagrama

Preobražaj austenita obično se ne vrši pod izotermin uslovima nego mnogo češće pri zagrijavanju ili hlađenju različitim brzinama. Za proučavanje promjena austenita pri uslovima kontinuiranog hlađenja primjenjuju se kontinuirani TTT – dijagrami.
Za konstruisanje jednog ovakvog dijagrama, TTT – dijagrama kontinuiranog tipa potrebno je 10-20 uzoraka, u zavisnosti od vrste čelika. Uzorci su, kao i kod snimanja izotermalnog dijagrama, cjevasti φ4x30

unutrašnjeg promjera φ2,6mm. Uzorci se u dilatometru zagrijavaju do temperature austenitizacije na kojoj se zadrže izvjesno vrijeme radi progrijavanja, pa potom hlade. Svaki uzorak se ispituje pri različitim brzinama hlađenja koje se postižu hlađenjem u vodi, na zraku, komprimiranim zrakom, različitim solnim kupkama, u ulju ili u peći – za najsporije hlađenje 1°C/min. Ovim dijapazonom brzina hlađenja od kaljenja u vodi do 1°C/min obuhvaćene su sve mikrostrukture koje mogu nastati pri kontinuiranom hlađenju, pa se na jednom proizvoljno hlađenom komadu mogu predstvaviti mikrostukture koje mogu nastati, tvrdoća, čvrstoća, kao i položaj preobražajnih tačakaako se izmjeri ili izračuna brzina hlađenja na mjestu koje nas interesuje.
U dijagramu je koordinata vremena apscisa u logaritamskoj podjeli, a temperatura, ordinata koja je u linearnoj podjeli. U dijagram se uvrštavaju pojedine krive hlađenja dilatometrijskih uslova. Na svaku krivu hlađenja unose se preobražajne tačke, utvrđene na odgovarajućim dilatometrijskim krivama. Odgovarajuće preobražajne tačke na različitim krivama hlađenja povezuju se međusobno. Na taj se način dobije dijagram koji u potpunosti predstavlja transformaciju podhlađenog austenita pri kontinuiranom hlađenju sa temperaturom austenitizacije. Dobijene krive transformacije, isto kao i kod izotermalniih dijagrama, dijele površinu dijagrama na polja obrazovanja različitih struktura: ferita, perlita, beinita i martenzita. Poslije završenog hlađenja napravi se snimak strukture koji se prilaže uz dijagram i izvrši ispitivanje tvrdoće čiji se rezultati upisuju u donjem dijelu krive hlađenja.
Kontinuirani TTT – dijagram u potpunosti predstvalja transformaciju podhlađenog austenita pri kontinuiranom hlađenju sa temperature austenitizacije. Ovakav dijagram se čita duž krivih hlađenja, a ne s lijeva na desno kao što je uobičajno.
Svaki od ovih dijagrama strogo važi samo za temperaturu austenitizacije i vrijeme pri kojima je konstruisan. Ako se promijena ova dva faktora, promijeni se i dijagram u većem ili manjem stepenu.
Primjer: kontinuirani TTT – dijagram i njemu pripadajuće krive hlađenja, za Mn šinu sastava: 0,65% C; 0,27% Si; 1,49% Mn; 0,015% S; 0,021% P. (Slika 18.)



*Slika 44. Primjer kontinuiranog TTT – dijagrama*

## 6.6. Izbor različitih tipova čelika i njihove mikrostrukture

### 6.6.1. Izbor različitih tipova čelika

Zbirka mikrofotografija, koja se naziva metalografski atlas legura željeza, omogućava povezivanje bilo kojeg čelika sa njemu odgovarajućom mikrostrukturom, koja se nalazi unutar općeg okvira „legure željeza i njihove legure". Da bi se ovo uradilo, mikrofotografije moraju biti raspoređene u skladu s nekim prikladnim principom.
Međutim, nemoguće je prikazati u jednoj zbirci mikrofotografija sve mikrostrukture koje nastaju u svim čelicima koji se koriste u svijetu, u Evropi ili samo u Evropskoj Uniji. Isto tako, postoje i želje za ilustracijom potpunog učinka legirajućih elemenata u tipičnim legurama željeza. Zbog toga je potrebno ograničiti odabrane karakteristične legure zajedno sa njihovim ilustrovanim mikrostrukturama, u opseg veličine jedne knjige. U sljedećem tekstu dat je primjer razmatranja kotrole kriterija kojim je izbor napravljen u slučaju knjige: .
U načelu selekcija je moguća po:

- rasponu primjene legura,
- sadržaju legirajućih elemenata u čeliku,
- mikrostrukturama, koje su karakteristične za cijelu skupinu čelika.

U atlasu mikrografija, posljednje načelo selekcija bi trebalo biti glavno, pod uslovom da je stvarno ograničen broj karakterisičnih mikrostruktura, uslovima koji se mogu svrstati sitematski i koji predstavljaju određenu grupu čelika. Dakle, na prvi pogled čini se da je nemoguće razvrstati prema mikrostukturi na podeutektoidne (hypoeutectoid) čelike sa manje od 0,8% ugljika i na nadeutektoidne (hypereutectiod) čelike sa više od 0,8% ugljika. Međutim, poteškoće nastaju kada shvatimo da je moguće formiranje ferita, koji je karakterističan za čelike ispod 0,8% ugljika, i kod čelika sa više od 0,8% ugljika, koji javlja u mikrostrukturama sa zaostalim karbidima, nakon nepotpune austenitizacije. Daljnja klasifikacija takvih mikrostruktura može biti prema vrsti "nataloženih" karbida, ali to ima mnoga ograničenja. Tako, na primjer, cementit se različito nagriza u zavisnosti od sadržaja kroma. Međutim, raspoznavanje mikrostrukture određenog tipa karbida u leguri je moguće samo povremeno. Morfologija karbida, također, nije karakteristična za stehiometrijski sastav i strukturu karbidne faze. Zbog toga precizna klasifikacija čelika preko njihove mikrosturkture zapravo i nije moguća.
Klasifikacija čelika prema njihovoj namjeni, kao što je poznato, ne daje jedinstveno načelo za klasifikaciju jer se mnogi čelici mogu pojavljivati u različitim primjenama. Iz tog razloga, pribjeglo se klasifikaciji baziranoj na hemijskom sastavu, jer je razumnije uzeti tip dodatka za legiranje kao kriterij razvrstavanja. Osim što klasifikuje legirani čelik, osnovna prednost je u mogućnosti povezivanja čelika sa njegovim odgovarajućim koncentracijskim dijagramom, po glavnom elementu u legiranom čeliku i fazama koje se pojavljuju.

Zbog toga se čelici u "atlasima" biraju na takav način da sadrže najvažnije legirajuće elemente u koncentracijama koje su potrebne za pojavljivanje najvažnijih faza, a osim toga biraju se tako da se slažu sa najčešće korištenim vrstama čelika.
Sljedeća faza je utvrđivanje da li je dovoljno prikupiti visokokvalitetne mikrofotografije od različitih izvora, odnosno da li je bolje praviti takve mikrofotografije ponovo, koristeći najbolju raspoloživu opremu i uzorke koji su u termičkoj i mehaničkoj obradi već dovoljno, dobro poznati. Također je neophodno provesti različite termičke obrade na istom materijalu, kako bi se dobilo što bolje poređenje. Zato je potrebno da osobe, koje pripremaju pojedinačna poglavlja "atlasa", izaberu materijal za testiranje od njima najboljih, dostupnih tipova čelika i lično provedu konkretne tretmane.

Za drugi dio (II) korišteni su njemački standardi za čelike. Birani su čelici, što je moguće više, koji su proizvedeni sličnim analizama i u drugim evropskim zemljama. Iskorišteno je što više materijala kad god je to bilo moguće i koji je bilo na raspolaganju, kao i sav materijal korišten u „Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle" ("Atlas za toplinsku obradu čelika") zajedno sa dijagramima transformacije. Ne samo da je rezultat svega bio vrhunska ušteda troškova i vremena, nego bio je i najbolja dostupna informacija za tačnu interpretaciju mikrofotografija, kao i karakteristika transformacije u svakom segmentu kojeg poznajemo.

Dodatni toplinski tretmani bili su neophodni samo kako bi ilustrovali mikrostrukturu proizvedenu komercijalnim tretmanima npr. mikrostruktura nakon normalizacije, brzog hlađenja i kaljenja. Mikrografi, birani tipično za svaki čelik, prikupljeni su u pločama, nasuprot kojih je kratki opis strukture. Nedovoljno prostora posvećeno je kako bi povezalo mikrografe sa mikrostrukturom svakog čelika uz dijagram ravnoteže. Ovo će se obraditi kao dodatni tekst.
Specifikacije su date iznad kolumni tekstova na njemačkom, engleskom i francuskom jeziku.
Puna analiza svih testiranih čelika je data u tabeli 1. Svaki čelik ima broj, koji će se koristiti i dalje u tekstu. Glavni legirajući elementi koji su korišteni za klasifikaciju, poredani su po redu C, Si, Mo, Ni, V, W, Al, $N_2$. Kao dodatak su ubačeni i standardi specifikacija zemalja koje se pojavljuju u tekstu što je više bilo moguće. Te zemlje su Belgija, Italija, Holandija i S.A.D. Posljednja kolona sadrži najznačajnije primjene svakog čelika.

### 6.7.1.1. Izbor mikrostruktura

Nakon što završi očvrščavanje, u mikrostrukturi za određeni tip čelika moguće su razne varijacije u onolikoj mjeri, koliko su moguće i varijacije termičke obrade, kao i pri procesu mehaničke obrade. Za korisnika je vrlo važno da se ograničenja tih strukturalnih varijacija mogu ilustrovati na nekoliko mikrofotografskih grafskih ploča, za svaku strukturu čelika. Moraju biti ispunjena sljedeća dva zahtjeva:

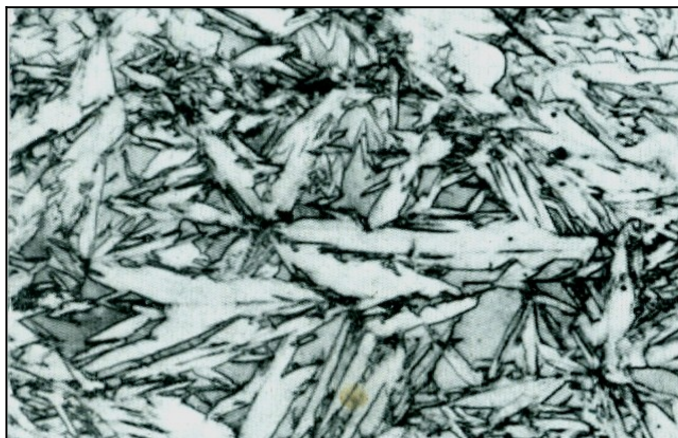
1. Moraju biti opisane strukture namijenjene za korištenje ili izbjegavanje u komercijalnim termičkim obradama.

2. Također se mora uzeti u obzir i osnovni opis faze i faznog rasporeda za legure.

Opis strukture ipunjava različite zahtjeve nakon normalizacije, žarenja, brzog hlađenja sa naknadnim kaljenjem, postupka topljenja, kaljenjem i ponekad nakon izotermalnih transformacija u perlitnom i beinitnom području. Povezano sa ovim industrijskim procesima termičke obrade, izradom čelika, termičkom i mehaničkom obradom dobija se i konačna veličina uzoraka i njihovo stanje, te se navode u svakom poglavlju "atlasa" tj. u tekstu o svakom čeliku. Termička obrada je opisana temperaturom i vremenom austenitizacije: npr. 860°C 15min, sredstvom za hlađenje npr. ulje, i ako je korišteno kaljenje npr. 400°C 2 h (sat). Hlađenje nakon kaljenja se klasificira prema mediju hlađenja: npr. zrak.

## Primjer mikrostruktura čelika C130W2

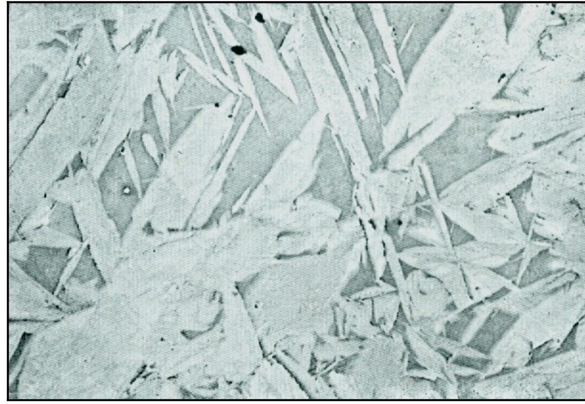
**Čelik:**C130 W2 (336 str.)
**Termička obrada:**
975 stepeni 15 min kaljeno u vodi; uzorak je 15x15x10 mm.
Tvrdoća HV 694



***Slika 1. Tetragonalni martenzit 1500:1***

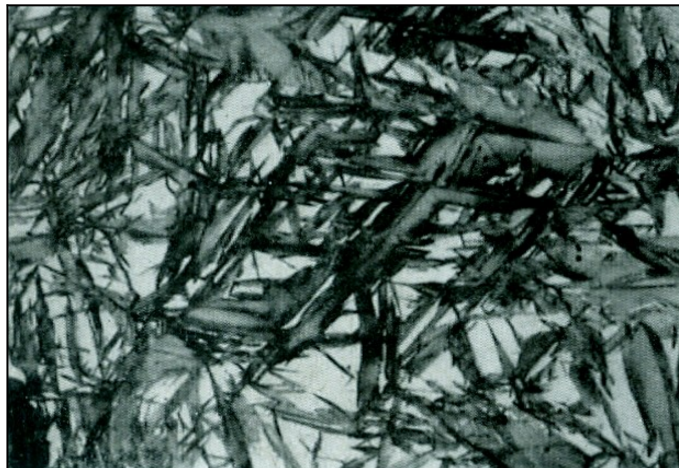
Svijetlo nagrižene igle različitih dimenzija su martenzit; osjenčene površine između igala, koje pod mikroskopom izgledaju žućkasto-bijele su zaostali austenit. Ovo je primjer mikrofotografije snimljene na optičkom mikroskopu pri povećenju 1500x.

Direktna replika



***Slika 2. Transmisioni elektronski mikroskop – direktna replika 5000:1***

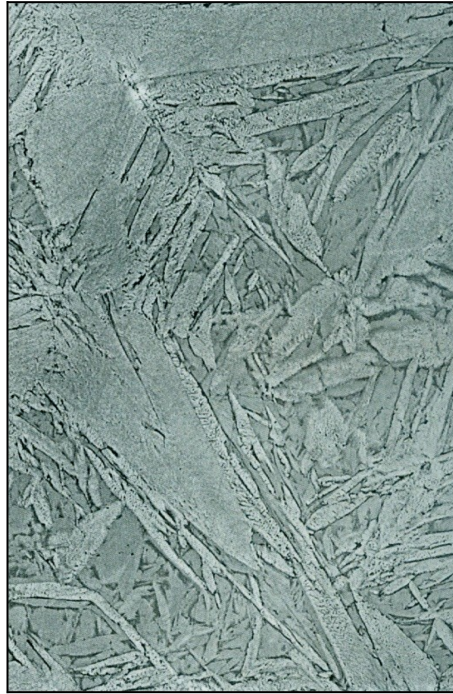
Acikularni konstituent na površinama koje su glatke na replici, su martenzit, a između su zaostale oblasti koje izgledaju nešto tamnije zbog jačeg nagrizanja



***Slika 2. Kubni martenzit 1500:1***

Uslovi 970 stepeni 15 min zagrijavanje / voda + 150°C 2h / zrak
Uzorak 15x15x5mm a tvrdoća HV 724
Ranije martnzitne igle su neravnomjerno potamnjene zahvaljujući precipitaciji epsilon karbida koji je nastao za vrijeme žarenja.
Zbog njegove male veličine epsilon karbid ne može biti razlučen. Svijetle površine su zaostali austenit ( 1500:1 )

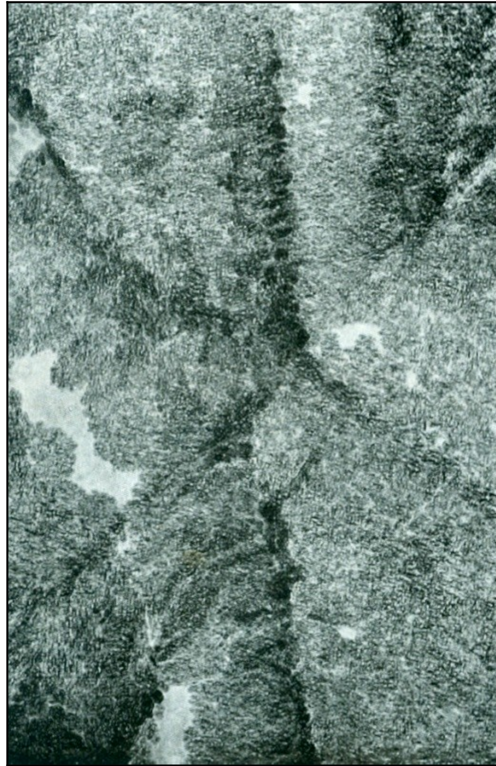
**Direktna replika.**



***Slika x. TEM – direktna replika 5000:1***

Velike martenzitne igle imaju granularnu strukturu različitog intenziteta, koja j prouzrokovana neravnomjernom precipitacijom ε - karbida, između ovih martenzitnih igala, male glatke nežarene martenzitne igle preostale u površinama koje su prvenstveno bile zaostali austenit
One ne mogu biti odrđene i ako su formirane za vrijeme hlađenja polslje žarnja ili za vrijeme pripreme mikro izbrusaka. Oni ne mogu biti određeni.

**Ekstrakciona replika**



***Slika 5. Extrakciona replika 30 000:1***

ε- karbid koji je recipitirao unutar martenzitnih igala ne može biti razlučen. On gradi mrežu finih šipki koje su raspoređene okomito jedna na drugu. Pravac ovih šiki mijenja se u različite igle. Na nekimk mjestima ε- karbid j precipitirao snažnije i kao grublje čestice u nekim preferiranim oblastima. Svijetle oblasti su zaostali (rezidualni) martenzit. (30000:1) .

## 6.6. Kompjuterske simulacije dijagramatransformacija

Iako je eksperimentalno određivanje dijagrama transformacia, skupo i dugotrajno, postoji veliki interes za izračunavanje ovih dijagrama. Efikasan kompjuterski model omogućava tačan oblik krivih hlađenja.
Problemi vezani za razvoj takvih programa su dvojaki i uključuju izračunavanje TTT dijagrama i proračun dijagrama CCT iz izotermni jednog. Veoma težak zadatak je rješavanje prvih problema iz prvog principa za date sastave čelika kao i empirijske korelacije. Drugi problem je mnogo lakši za rukovanje i nekoliko prisputa su uspješno pokušani. Jedan od njih će biti objašnjen u nastavku.
Kao osnova za proračun, Johnson-Mehl-Avrami izraz opisuje difuzionu transformaciju austenita bilo u ferit, perlit ili beinit, i može biti izražen kao:

$$\mathbf{v = 1 - exp (-b \bullet tn)}$$

gdje je:
V – volumen transformacije,
t – vrijeme,
b i n su temperaturno zavisne konstante.
„b“ i „n“ se ocjenjuju iz datog dijagrama, osim za ferit za koji se pretpostavlja da je n = 1.

Općenito, može se reći da je:

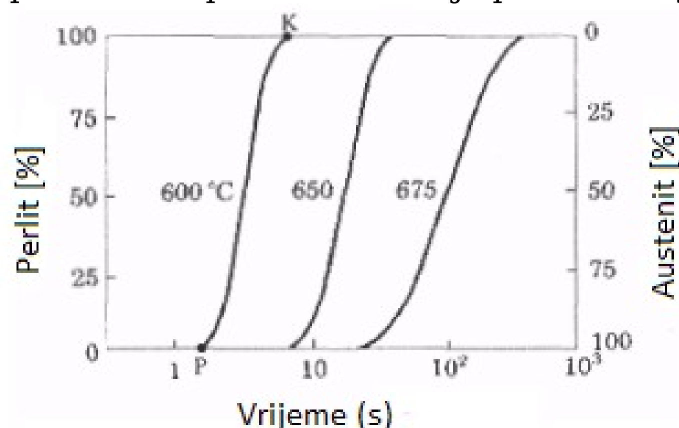
**(log[ln(a-v)/ln(1-v)])/(log[t(T)/t1(T)])**

Pri martenzitnoj transformaciji odnos se zasniva na sljedećem izrazu:

**vM = (1 - vF - vP - vB - vC) ,**

gdje je:
**F=ferit,**
**P= perlit,**
**B=beinit**
**C=cementit.**

Na kraju ovoga poglavlja može se zaključiti sljedeće:
Razlaganje austenita događa se samo na temperaturama nižim od 727°C (kritična tačka $Ar_1$), Za opisivanje kinetike transformacije pothlađenog austenita koriste se eksperimentalno dobijeni dijagrami vrijeme–temperatura–stepen razlaganja, ili dijagrami izotermalne transformacije pothlađenog austenita, tj. razlaganja austenita pri konstantnoj temperaturi. U literaturi ovi dijagrami su poznati pod nazivom TTT (time–temperature– transformation).
Za izučavanje procesa izotermalne transformacije austenita potrebno je uzorke čelika zagrijavati do temperatura koje odgovaraju stabilnom austenitu (iznad kritične tačke), a zatim brzo hladiti do temperatura koje su niže od kritične tačke $Ar_1$, tj. do temperatura na kojima se obavlja transformacija austenita na pr. 600°C, 500°C, 400°C itd., i držati uzorke čelika na tim temperaturama različito vreme, tj. do potpune transformacije austenita.
Proces transformacije austenita na konstantnoj temperaturi može se prikazati eksperimentalno dobijenom krivom, (slika 45.), na osnovu koje se može ocijeniti količina transformisanog austenita u zavisnosti od vremena koje je proteklo od početka hlađenja pothlađenog austenita.




***Slika 45. Eksperimentalno dobijene krive izotermalne transformacije austenita u perlit (ferit + cementit), za ugljenični čelik sa 0,8%C u funkciji vremena i temperature***

U toku nekog vremenskog intervala, od početka procesa pa do tačke P, kako se to vidi na slici 45, ne dolazi do transformacije austenita. Ovo vrijeme naziva se inkubacioni period. Po isteku ovog perioda počinje transformacija austenita u feritno–cementitnu strukturu. Tokom vremena količina transformisanog austenita raste. Potpuna transformacija austenita završava se po isteku nekog vremena (tačka K). Prema tome, možemo zaključiti da je za transformaciju austenita u feritno–cementitnu strukturu na nekoj konstantnoj temperaturi potrebno da protekne neko određeno vreme. Na osnovu eksperimentalnih krivih dobijenih ispitivanjem za više temperatura pothlađivanja t1, t2, t3 ... tn, može se konstruisati dijagram izotermalne transformacije austenita ili TTT dijagram.

## 6.7. Izbor različitih vrsta (tipova) čelika i njihove mikrostrukture

### 6.7.1. Izbor različitih vrsta (tipova) čelika

Zbirka mikrofotografija, koja se naziva metalografski atlas legura željeza, omogućava povezivanje bilo kojeg čelika sa njemu odgovarajućom mikrostrukturom, koja se nalazi unutar općeg okvira „legure željeza i njihove legure“. Da bi se ovo uradilo, mikrofotografije moraju biti raspoređene u skladu s nekim prikladnim principom.
Međutim, nemoguće je prikazati u jednoj zbirci mikrofotografija sve mikrostrukture koje nastaju u svim čelicima koji se koriste u svijetu, u Evropi ili samo u Evropskoj Uniji. Isto tako, postoje i želje za ilustracijom potpunog učinka legirajućih elemenata u tipičnim legurama željeza. Zbog toga je potrebno ograničiti odabrane karakteristične legure zajedno sa njihovim ilustrovanim mikrostrukturama, u opseg veličine jedne knjige. U sljedećem tekstu dat je primjer razmatranja kotrole kriterija kojim je izbor napravljen u slučaju knjige: .
U načelu selekcija je moguća po:

- rasponu primjene legura,
- sadržaju legirajućih elemenata u čeliku,
- mikrostrukturama, koje su karakteristične za cijelu skupinu čelika.

U atlasu mikrografija, posljednje načelo selekcija bi trebalo biti glavno, pod uslovom da je stvarno ograničen broj karakterisičnih mikrostruktura, uslovima koji se mogu svrstati sitematski i koji predstavljaju određenu grupu čelika. Dakle, na prvi pogled čini se da je nemoguće razvrstati prema mikrostukturi na podeutektoidne (hypoeutectoid) čelike sa manje od 0,8% ugljika i na nadeutektoidne (hypereutectiod) čelike sa više od 0,8% ugljika. Međutim, poteškoće nastaju kada shvatimo da je moguće formiranje ferita, koji je karakterističan za čelike ispod 0,8% ugljika, i kod čelika sa više od 0,8% ugljika, koji javlja u mikrostrukturama sa zaostalim karbidima, nakon nepotpune austenitizacije. Daljnja klasifikacija takvih mikrostruktura može biti prema vrsti "nataloženih" karbida, ali to ima mnoga ograničenja. Tako, na primjer, cementit se različito nagriza u zavisnosti od sadržaja kroma. Međutim, raspoznavanje mikrostrukture određenog tipa karbida u leguri je moguće samo povremeno. Morfologija

karbida, također, nije karakteristična za stehiometrijski sastav i strukturu karbidne faze. Zbog toga precizna klasifikacija čelika preko njihove mikrosturkture zapravo i nije moguća.

Klasifikacija čelika prema njihovoj namjeni, kao što je poznato, ne daje jedinstveno načelo za klasifikaciju jer se mnogi čelici mogu pojavljivati u različitim primjenama. Iz tog razloga, pribjeglo se klasifikaciji baziranoj na hemijskom sastavu, jer je razumnije uzeti tip dodatka za legiranje kao kriterij razvrstavanja. Osim što klasifikuje legirani čelik, osnovna prednost je u mogućnosti povezivanja čelika sa njegovim odgovarajućim koncentracijskim dijagramom, po glavnom elementu u legiranom čeliku i fazama koje se pojavljuju.
Zbog toga se čelici u "atlasima" biraju na takav način da sadrže najvažnije legirajuće elemente u koncentracijama koje su potrebne za pojavljivanje najvažnijih faza, a osim toga biraju se tako da se slažu sa najčešće korištenim vrstama čelika.

Sljedeća faza je utvrđivanje da li je dovoljno prikupiti visokokvalitetne mikrofotografije od različitih izvora, odnosno da li je bolje praviti takve mikrofotografije ponovo, koristeći najbolju raspoloživu opremu i uzorke koji su u termičkoj i mehaničkoj obradi već dovoljno, dobro poznati. Također je neophodno provesti različite termičke obrade na istom materijalu, kako bi se dobilo što bolje poređenje. Zato je potrebno da osobe, koje pripremaju pojedinačna poglavlja "atlasa", izaberu materijal za testiranje od njima najboljih, dostupnih tipova čelika i lično provedu konkretne tretmane.
Za drugi dio (II) korišteni su njemački standardi za čelike. Birani su čelici, što je moguće više, koji su proizvedeni sličnim analizama i u drugim evropskim zemljama. Iskorišteno je što više materijala kad god je to bilo moguće i koji je bilo na raspolaganju, kao i sav materijal korišten u „Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle“ ("Atlas za toplinsku obradu čelika") zajedno sa dijagramima transformacije. Ne samo da je rezultat svega bio vrhunska ušteda troškova i vremena, nego bio je i najbolja dostupna informacija za tačnu interpretaciju mikrofotografija, kao i karakteristika transformacije u svakom segmentu kojeg poznajemo.

Dodatni toplinski tretmani bili su neophodni samo kako bi ilustrovali mikrostrukturu proizvedenu komercijalnim tretmanima npr. mikrostruktura nakon normalizacije, brzog hlađenja i kaljenja. Mikrografi, birani tipično za svaki čelik, prikupljeni su u pločama, nasuprot kojih je kratki opis strukture. Nedovoljno prostora posvećeno je kako bi povezalo mikrografe sa mikrostrukturom svakog čelika uz dijagram ravnoteže. Ovo će se obraditi kao dodatni tekst.
Specifikacije su date iznad kolumni tekstova na njemačkom, engleskom i francuskom jeziku.
Puna analiza svih testiranih čelika je data u tabeli 1. Svaki čelik ima broj, koji će se koristiti i dalje u tekstu. Glavni legirajući elementi koji su korišteni za klasifikaciju, poredani su po redu C, Si, Mo, Ni, V, W, Al, $N_2$.
Kao dodatak su ubačeni i standardi specifikacija zemalja koje se pojavljuju u tekstu što je više bilo moguće. Te zemlje su Belgija, Italija,

Holandija i S.A.D. Posljednja kolona sadrži najznačajnije primjene svakog čelika.

## Izbor mikrostruktura

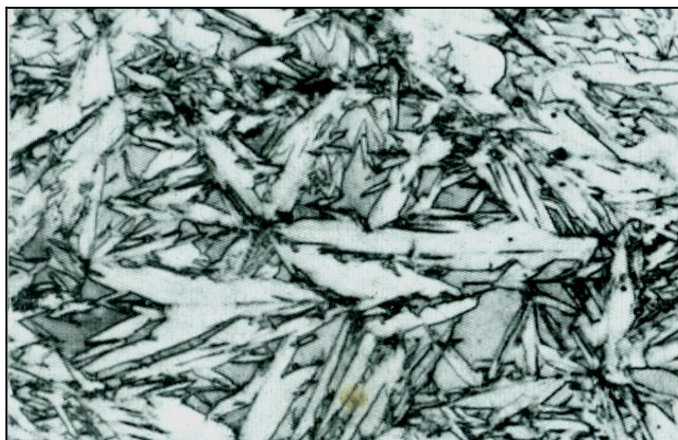
Nakon što završi očvrščavanje, u mikrostrukturi za određeni tip čelika moguće su razne varijacije u onolikoj mjeri, koliko su moguće i varijacije termičke obrade, kao i pri procesu mehaničke obrade. Za korisnika je vrlo važno da se ograničenja tih strukturalnih varijacija mogu ilustrovati na nekoliko mikrofotografskih grafskih ploča, za svaku strukturu čelika. Moraju biti ispunjena sljedeća dva zahtjeva:

1. Moraju biti opisane strukture namijenjene za korištenje ili izbjegavanje u komercijalnim
termičkim obradama.
2. Također se mora uzeti u obzir i osnovni opis faze i faznog rasporeda za legure.

Opis strukture ipunjava različite zahtjeve nakon normalizacije, žarenja, brzog hlađenja sa naknadnim kaljenjem, postupka topljenja, kaljenjem i ponekad nakon izotermalnih transformacija u perlitnom i beinitnom području. Povezano sa ovim industrijskim procesima termičke obrade, izradom čelika, termičkom i mehaničkom obradom dobija se i konačna veličina uzoraka i njihovo stanje, te se navode u svakom poglavlju "atlasa" tj. u tekstu o svakom čeliku. Termička obrada je opisana temperaturom i vremenom austenitizacije: npr. 860°C 15min, sredstvom za hlađenje npr. ulje, i ako je korišteno kaljenje npr. 400°C 2 h (sat). Hlađenje nakon kaljenja se klasificira prema mediju hlađenja: npr. zrak.

## Primjer mikrostruktura čelika C130W2 -

**Čelik:**C130 W2 (336 str.)
**Termička obrada:**
975 stepeni 15 min kaljeno u vodi; uzorak je 15x15x10 mm.
Tvrdoća HV 694

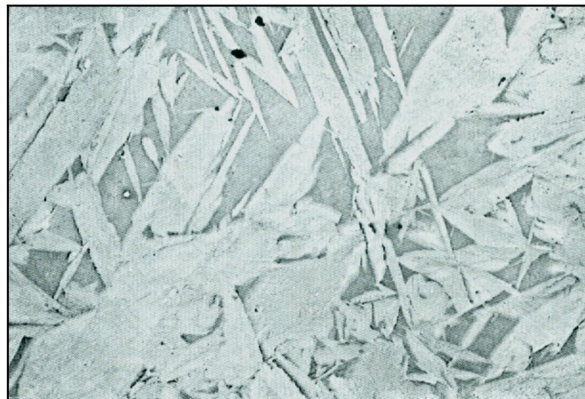


***Slika 1. Tetragonalni martenzit 1500:1***

Svijetlo nagrižene igle različitih dimenzija su martenzit; osjenčene površine između igala, koje pod mikroskopom izgledaju žućkasto-bijele su

zaostali austenit. Ovo je primjer mikrofotografije snimljene na optičkom mikroskopu pri povećenju 1500x.

Direktna replika



***Slika 2. Transmisioni elektronski mikroskop – direktna replika 5000:1***

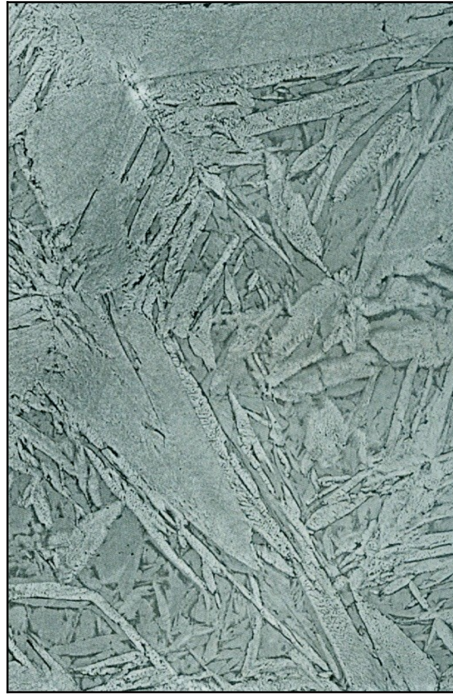
Acikularni konstituent na površinama koje su glatke na replici, su martenzit, a između su zaostale oblasti koje izgledaju nešto tamnije zbog jačeg nagrizanja



***Slika 2. Kubni martenzit 1500:1***

Uslovi 970 stepeni 15 min zagrijavanje / voda + 150$^{o}$C 2h / zrak
Uzorak 15x15x5mm a tvrdoća HV 724
Ranije martnzitne igle su neravnomjerno potamnjene zahvaljujuću precipitaciji epsilon karbida koji je nastao za vrijeme žarenja.
Zbog njegove male veličine epsilon karbid ne može biti razlučen. Svijetle površine su zaostali austenit ( 1500:1 )

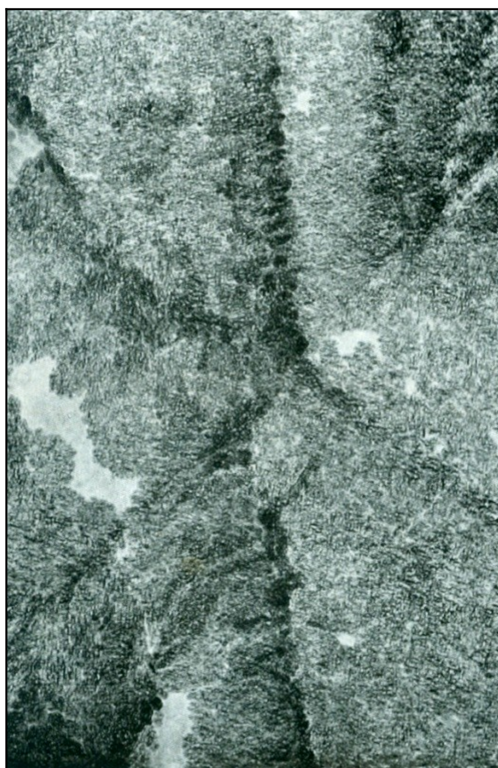
**Direktna replika.**



***Slika x.     TEM – direktna replika       5000:1***

Velike martenzitne igle imaju granularnu strukturu različitog intenziteta, koja j prouzrokovana neravnomjernom precipitacijom ε - karbida, između ovih martenzitnih igala, male glatke nežarene martenzitne igle preostale u površinama koje su prvenstveno bile zaostali austenit
One ne mogu biti odrđene i ako su formirane za vrijeme hlađenja polslje žarnja ili za vrijeme pripreme mikro izbrusaka. Oni ne mogu biti određeni.

**Ekstrakciona replika**



***Slika 5. Extrakciona replika      30 000:1***

ε- karbid koji je recipitirao unutar martenzitnih igala ne može biti razlučen. On gradi mrežu finih šipki koje su raspoređene okomito jedna na drugu. Pravac ovih šiki mijenja se u različite igle. Na nekimk mjestima ε- karbid j precipitirao snažnije i kao grublje čestice u nekim preferiranim oblastima. Svijetle oblasti su zaostali (rezidualni) martenzit. (30000:1)

# 7. ALATNI ČELICI

**Alatni čelik** odnosi se na mnoštvo karbonskih i legiranih čelika koji su posebno pogodni za pravljenje alata. Njihova pogodnost za ovu upotrebu dolazi od njihove izričite tvrdoće, otpornosti na abraziju, njihove sposobnosti da drže oštricu sječiva, i/ili njihove otpornosti na deformaciju pri povišenim temperaturama. Alatni čelik se, općenito, koristi utermički obrađenom stanju.

Sa sadržajem ugljika između 0,7% i 1,4%, alatni čelici se proizvode po pažljivo kontrolisanim uslovima kako bi se dobio traženi kvalitet. Sadržaj mangana je, obično, nizak kako bi se smanjila pomogućnost od pucanja tokom kaljenjavodom. Međutim, odgovarajuća termička obrada ovih čelika važna je za adekvatne performanse, te mnogi proizvođači prodaju *blanko* alatne blokove (od kojih se kasnije pravi gotov proizvod - alat), namijenjene za uljno kaljenje.

Alatni čelici prave se u različitim kvalitetima za različite primjene. Odabir kvaliteta za visi od toga, između ostalog, da li je potrebno oštro sječivo, ili da alat treba da izdrži udarno opterećenje, te uslove rade koji se mogu naći kod nekih ručnih alata, kao što su sjekire, krampova i kamenolomski alati. Općenito, granična temperatura u očekivanoj upotrebi je važna za određivanje sadržaja i potrebne termičke obrade. Čelik sa višim sadržajem ugljika se koristi se, naprimjer, kod alata za rezanje metala.

Alatni čelici koriste se za posebne primjene, kao što je kalupljenje, zato što je otpornost na abraziju važan kriterij da bi se kalup komogao koristiti za proizvodnju stotina hiljada istih dijelova.

Upotreba raznih alata potječe od samih početaka ljudske civilizacije. Prvi korišteni alati bili su kamena sjekira, kameni nož, te svi ostali predmeti koje je čovjek koristio u svakodnevnom životu. Prije 5000 godina započinje upotreba alata izrađenog od meteoritskog željeza. Kasnijim kontaktom u vatri takvog željeza s sredstvom za pougljičavanje nastaju prvi alati od čelika. Alat predstavlja svako sredstvo kojim čovjek olakšava ili omogućava izvršenje željene radnje bilo neposredno, snagom ruke, bilo posredno snagom nekog stroja.










*Slika broj*

Razvoj modernih industrijskih alata doživljava tehnološku revoluciju u drugoj polovici 19. stoljeća. U tom razvoju najvažnije je istaknuti sljedeće godine:

1868. Mushetov čelik (2% C, 7% W, 2,5% Mo),
1898. Taylor-Whiteov brzorezni čelik (1,85% C, 3,8% Cr, 8% W),
1904. J. A. Mathews - brzorezni čelik s vanadijem,
1910. razvoj volframovih čelika za topli rad,
1912. dodatak kobalta u alatne čelike,
1930. započinje razvoj brzoreznih čelika legiranih molibdenom.

**Podjela čelika prema oblastima primene:**

- Betonski čelici
- Čelici za cementaciju
- Čelici za poboljšanje
- Čelici za obradu na automatima
- Čelici za površinsko kaljenje
- Čelici za nitriranje
- Čelici za upotrebu kod povišenih temperatura
- Vatrootporni čelici
- Čelici sa povećanom otpornošću prema atmosferskoj koroziji
- Nerđajući čelici
- Nerđajući i hemijski postojani čelici
- Čelici otporni prema habanju
- Čelici otporni na starenje
- **Alatni čelici**
    - **ugljenični**
    - **legirani ( za rad u hladnom stanju; za rad u vrućem stanju)**
    - **brzorezni**

- Čelici za posude pod pritiskom
- Čelici za opruge
- Čelici za kotrljajne ležaje
- Čelici za ventile motora
- Čelici za lance

**Vrste alatnih čelika:**
S obzirom na hemijski sastav alatni čelici mogu biti:
-ugljični (nelegirani) alatni čelik,
-niskolegirani alatni čelik,
-visokolegirani alatni čelik.
Prema radnoj temperaturi i uvjetima primjene alatni čelici se dijele na:
-alatni čelik za hladni rad (< 200 °C),
-alatni čelik za topli rad (>200 °C),

## 7.1. Ugljični alatni čelik

Ugljični ili nelegirani alatni čelici pripadaju skupini plemenitih čelika, a sadrže 0,5 - 1,5% ugljika, te manje udjelesilicija i mangana. Što je viši udio ugljika u čeliku to je viša tvrdoća (viši udio sekundarnog cementita), a nižažilavost. Budući da nisu legirani, ova skupina čelika ima nisku prokaljivost (~ 10 mm). Zbog niske prokaljivosti imaju bolju žilavost u odnosu na druge alatne čelike, jer se kaljenjem u rubnim slojevima postiže martenzitnamikrostruktura, dok u jezgri ostaje eutektoidna mikrostruktura. Ova skupina alatnih čelika se kali s relativno niskih temperatura austenitizacije u vodi i nisko popušta (< 200 °C) zbog pada tvrdoće. Prije kaljenja obično se provodi sferoidizacijsko (meko) žarenje, kojim se olakšava obrada odvajanjem čestica i priprema kasnija austenitizacija. Ugljični alatni čelici mogu se podijeliti na četiri kvalitetne skupine: W1, W2, W3 i WS.
Do kraja 19. stoljeća svi alati su izrađivani iz ugljičnih alatnih čelika. Trenutno nelegirani (ugljični) alatni čelici zauzimaju oko 10% udjela u ukupnoj masi proizvedenih alatnih čelika. Unatoč znatno nepovoljnijim svojstvima tako visoki udio ugljičnih alatnih čelika održao se zbog toga što su: najjeftinija vrsta alatnih čelika, najšireg asortimana dimenzija, jednostavni za toplinsku obradu, razmjerno niske temperature austenitizacije, manje osjetljivi prema razugljičenju površine tijekom toplinske obrade, lakše obradivi odvajanjem čestica, boljezavarljivi.
Glavni nedostatak ugljičnih alatnih čelika je vrlo kratko inkubacijsko trajanje do pretvorbe pothlađenog austenitau eutektoidne ili bainitne konstituente. Zbog toga što taj period traje svega nekoliko sekundi nužno je intenzivno hlađenje u vodi. To može dovesti do pojave velikih naprezanja koja uzrokuju napuknuća i lomove. Najvažnija prednost ove skupine alatnih čelika predstavlja njihova žilavost, pa stoga mjesto primjene uglavnom pronalaze u izradi udarnih alata.

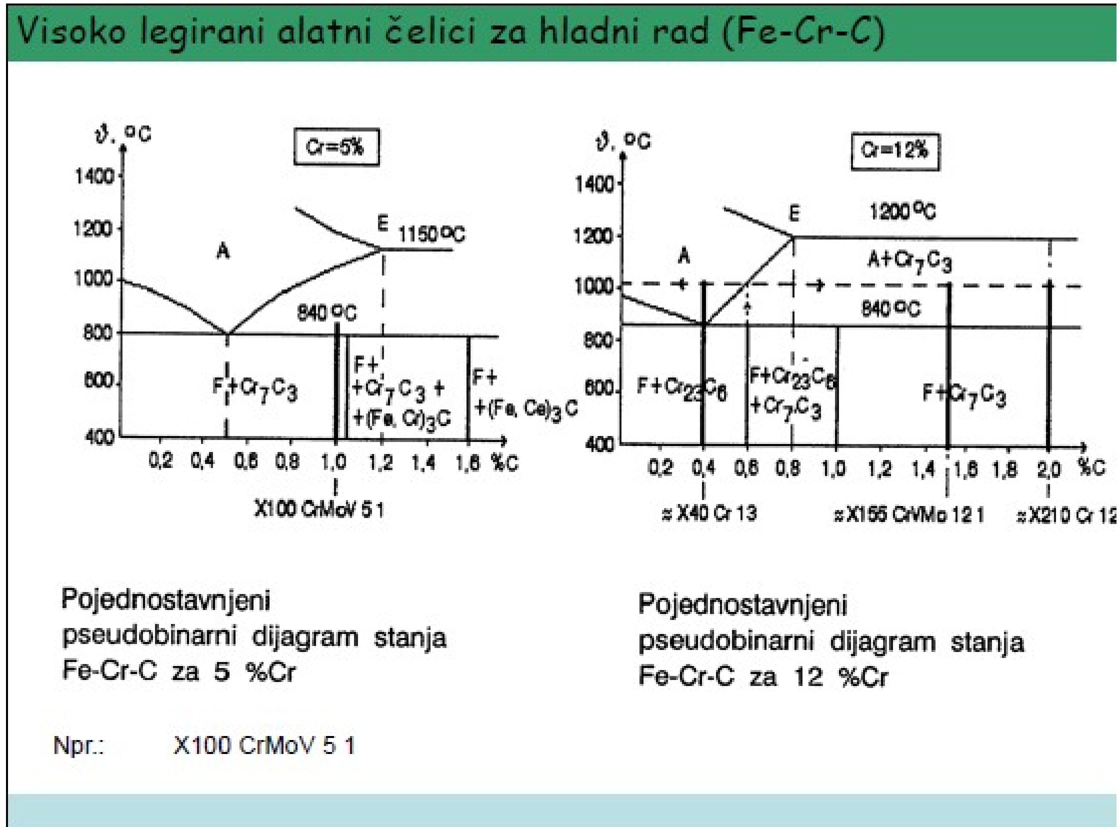
## Niskolegirani alatni čelici za hladan rad

Zajednička karakteristika ove skupine čelika je niska otpornost na popuštanje, osrednja žilavost (u odnosu na ugljične alatne čelike), te visoka otpornost na trošenje. Osnovni cilj zbog kojeg se provodi legiranje ovih čelika predstavlja povišenje prokaljivosti, te dobivanje kvalitetnijih i postojanijih karbida u odnosu na karbid $Fe_3C$. Niskolegirani alatni čelici popuštaju se nisko (≤ 250 °C), pri čemu je primarni cilj izbjegavanje pojave velikih naprezanja i pukotina.
Podskupine niskolegiranih alatnih čelika za hladan rad su:
-visokougljični W-V čelici. Koristi se za: obično dolazi u srebrnastoj izvedbi za spiralna svrdla, razvrtala manjih promjera, manja glodala, alat za navoje, dlijeta za rasijecanje turpija, zubarska svrdla (120W4), noževi za drvo, papir i furnir, duhan (110WCrV5), čelik za alat za obradu mlinskih valjaka izrađenih od bijeloga tvrdog lijeva, matrice za provlačenje žice, strugači, graverska dlijeta (142WV13), sve vrste noževa za obradbu odvajanjem čestica drva, furnira, duhana, papira, polimera (100WV4).
-nisko i srednjeugljični W-Cr-(Si)-V čelici. Koristi se za: pneumatski alat (dlijeta), ručna dlijeta, škare za udarni hladni i topli rad, matrice za kovanje vijaka i zakovica (45WCrV7), žigovi za hladno i toplo probijanje, alat za ljuštenje i blanjanje drva, cirkularna glodala za odrezivanje cijevi (60WCrV7), visokonapregnuti žigovi za hladno utiskivanje, alati za istiskivanje mekih metala (npr. alati za izradu aluminijskih ili kositrenih tuba, cinkovih čašica itd.), valjci za hladno valjanje, prikladan i za rad pri povišenim temperaturama (80WCrV8).
-niskolegirani Cr-čelici. Koristi se za: svrdla, razvrtala, alat za navoje, zubarska svrdla, pile za metal, strugači, alati za graviranje, probijači (115CrV3), rezni alati za obradu sivoga lijeva, mjedi, bakra, tvrdoga drveta, mramora, za kiparska dlijeta, britve, tvrde turpije, finorezni alat (140Cr3), manji valjci za hladno valjanje, šiljci tokarilica, alat za navoje, manja glodala, mjerni alati (kalibri), razvrtala (100Cr6).
-niskolegirani Mn-Cr-V i Mn-Cr-W čelici. Koristi se za: kalupi za kovanje novca, alat za navoje, spiralna svrdla manjih dimenzija, kalibri i granične mjerke, razvrtala, vretena mikrometara, štance (rezne ploče i noževi), noževi za papir i duhan, glodala za drvo.

## Visokolegirani alatni čelici za hladan rad

Glavni legirajući element ove skupine čelike je krom (> 5%) uz moguće dodatno legiranje vanadijem, molibdenom i/ili volframom. Povišenjem stupnja legiranosti i temperature austenitizacije raste udio zaostalog austenita u zakaljenoj mikrostrukturi, što može smanjiti pojavu deformacija nakon kaljenja. S obzirom na kemijski sastav, mikrostrukturu i svojstva visokolegirani alatni čelici za hladni rad mogu se podijeliti u 3 podgrupe:
-čelici s ~5% kroma (npr. X100CrMoV5-1). Glavna primjena mu je za izradu škara i alata za oblikovanje lima,mjernog alata, razvrtala, nareznih svrdala, nareznica, matrica složenih oblika, alata za preradu polimera itd.
-visokougljični ledeburitni čelici s 12% kroma (npr. X210Cr12, X210CrW12, X65CrMoV12, X55CrVMo12-1). Najčešća primjena ove

skupine čelika je za izradu alata za hladno oblikovanje, utiskivanje, duboko izvlačenje, tlačno istiskivanje itd.
-martenzitni nehrđajući čelici (npr. X42Cr13, X45CrMoV15, X5CrMo14, X1CrMoV18). Koristi se za medicinske instrumente (npr. skalpeli, škare, zubarska kliješta, pincete i sl.), pribor za jelo (npr. noževi), žilete, britve, krojačke škare.



## Visoko legirani alatni čelici za hladni rad (Fe-Cr-C)

Kvantitativni pokazatelji različitih utjecaja na otpornost na trošenje visoko legiranih Cr - čelika

| oznaka čelika | | sastav | tvrdoća | $M_7C_3$ | MC | ukupno karbida | volumen kratera nastalog trošenjem, $mm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VDEh | AISI | čelika | HRC | % mase | % mase | % mase | |
| X160 CrMoV 12 1 | - | 1,6%C,12%Cr, 0,9%Mo | 60<br>62 | 16...17<br>17 | -<br>- | 16...17<br>17 | 0,27<br>0,26 |
| - | A7 | 2,25%C,5,25%Cr, 1%Mo,4,1%V | 60<br>61,5 | 9...10<br>9...10 | 7...8<br>7...8 | 16...18<br>16...18 | 0,23<br>0,22 |
| - | D7 | 2,4%C,12,5%Cr, 1%Mo, 4,1%V | 60 | 19...20 | 4...5 | 23...25 | 0,12 |

# Nelegirani alatni čelici

## Nelegirani alatni čelici

| VDEh | C | Si | Mn | V |
|---|---|---|---|---|
| C 45 W | 0,40...0,50 | 0,15...0,40 | 0,60...0,80 | - |
| C 70 W 2 | 0,65...0,74 | 0,10...0,30 | 0,10...0,35 | - |
| C 80 W 1 | 0,75...0,85 | 0,10...0,25 | 0,10...0,25 | - |
| C 105 W 1 | 1,00...1,10 | 0,10...0,25 | 0,10...0,25 | - |
| 100 V 1 | 0,95...1,05 | 0,10...0,30 | 0,10...0,30 | 0,1 |
| C 110 W | 1,00...1,20 | 0,10...0,30 | 0,10...0,35 | - |
| C 125 W | 1,20...1,35 | 0,10...0,30 | 0,10...0,35 | + |
| C 135 W | 1,30...1,45 | 0,10...0,30 | 0,10...0,35 | - |

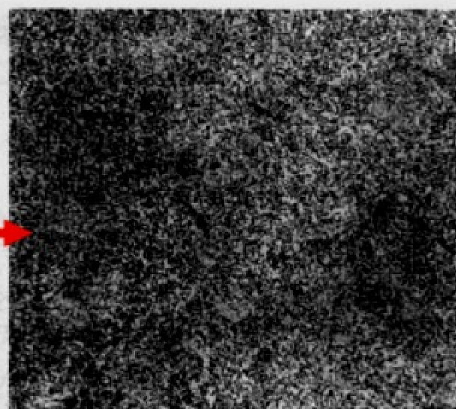






## Nelegirani alatni čelici → sferodizacijsko žarenje

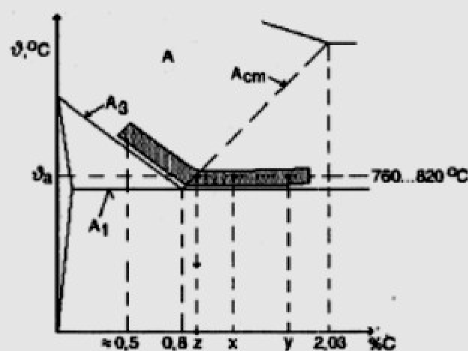




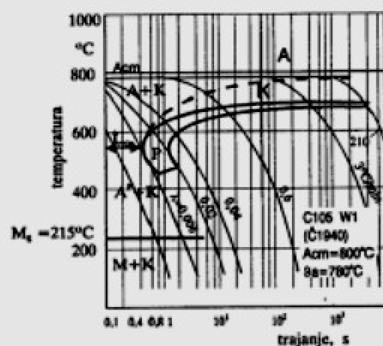
lamelarni (i mrežasti) oblik karbidnih čestica — sferoidalni oblik karbidnih čestica

*Mikrostruktura visokougljičnog alatnog čelika prije sferoidizacijskog žarenje i poslije njega*

## Nelegirani alatni čelici → kaljenje



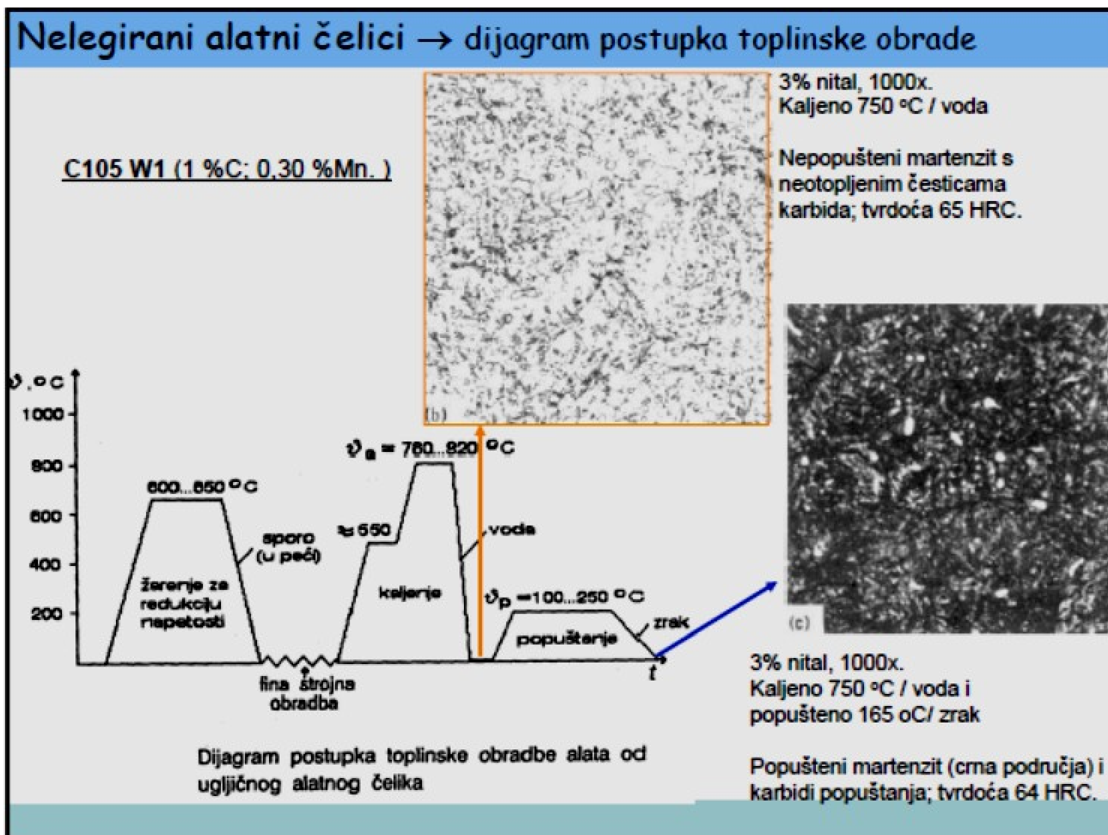

Određivanje temperature austenitizacije ugljičnih alatnih čelika




Dijagram TTT za kontinuirano ohlađivanje čelika C105 W1 (Č1940)

Vodeći računa o niskoj prokaljivosti ovih čelika nadeutektoidni ugljični alatni čelici nakon kaljenja imat će strukturu:

a) rub: M + $Fe_3C''$+$A_z$ (tvrdoće oko 65 HRC)
b) prelazna zona: fini P + M + $Fe_3C''$ + $A_z$ (tvrdoće oko 55 HRC). Mjesta s tvrdoćom 55 HRC (610 HV) sadrže oko 50 % martenzita
c) jezgra: fini P+$Fe_3C''$ (tvrdoće 35...45 HRC)




## Alatni čelici za topli rad

Alatni čelici za rad u toplom stanju primjenjuju se za izradu alata koji su tijekom rada zagrijani na temperaturu višu od 200 °C. Najvažnije svojstvo alatnih čelika za topli rad predstavlja otpornost na popuštanje. Otpornost na popuštanje obuhvaća pojave koje se mogu javiti tijekom izloženosti povišenim temperaturama (npr. smanjenje tvrdoće, mikrostrukturne promjene, toplinski zamor). Pored otpornosti na popuštanje pred alatne čelike za topli rad postavljaju se još i dodatni zahtjevi poput otpornosti na: trošenje, visokotemperaturnu koroziju, pojavu plastičnih deformacija, udarno opterećenje (žilavost).

Alatni čelici za topli rad mogu se podijeliti u tri glavne grupe:

-niskolegirani alatni čelici za ukovnje (npr. čelici 56NiCrMoV7, 55NiCrMoV6),

-visokolegirani čelici s ~5% kroma i 1 - 3% molibdena, namijenjeni za kalupe za tlačni lijev (npr. čelici X32CrMoV3-3, X38CrMoV5-1),

-visokolegirani W-Cr-V čelici za kalupe za tlačni lijev (npr. čelici X30WCrV4-1, X30WCrV9-3).

## Brzorezni čelici

Brzorezni čelici su alatni čelici predviđeni za rad u uvjetima povišene i visoke temperature oštrice tj. za rezanje velikim brzinama. Najčešće su brzorezni čelici u radu izloženi lokalnom zagrijavanju do ≈ 600 °C (ponekad i 1000 °C), trošenju, te udarnom djelovanju obratka na alat. Kemijski sastav ove skupine čelika karakterizira povišeni udio ugljika (0,7

- 1,3%) i legiranje jakim karbidotvorcima poput kroma, volframa, vanadija i molibdena. Povišeni udio ugljika utječe na stvaranje karbida koji su postojani i pri povišenim temperaturama. Poput svih alatnih čelika brzorezne čelike karakterizira višefazna mikrostruktura sastavljena od metalne osnove i karbida. Kompleksna legiranost brzoreznih čelika uzrokom je pojave različitih vrsta karbida.

## Sinterirani alatni čelici

Istraživanje i razvoj različitih procesa, te laboratorijskih metoda sinteriranja, započeli su početkom 20. stoljeća znanstvenici poput Moissona, Troosta, Wedekinda i dr. Spomenuti istraživači predstavljaju začetnike nove industrijske discipline – metalurgije praha (eng. *Powder Metallurgy* – PM). Današnji suvremeni materijali dobivaju se optimiranjem sastava i mikrostrukture materijala prema željenim svojstvima. Metalurgija praha pruža velike mogućnosti za ostvarenje takvog pristupa proizvodnji materijala i različitih dijelova strojeva. Metalurgija praha obuhvaća ne samo proizvodnju metala u obliku praha, nego i nemetalnih prahova, te oblikovanje dijelova iz takvih prahova postupkom sinteriranja, odnosno srašćivanja.

Intenzivniji razvoj metalurgije praha počeo je proizvodnjom i uporabom "tvrdih metala”, a posljednjih godina prolazi kroz razdoblje značajnijeg napretka. Danas se postupcima metalurgije praha mogu postići jednaka ili bolja svojstva od tradicionalnih postupaka oblikovanja metala. Postupci oblikovanja praha danas se također primjenjuju u proizvodnji keramike i metalnih kompozita. Postupci sinteriranja čelika razvijeni su nakon usavršavanja postupaka sinteriranja tvrdih metala (npr. karbidi + Co, karbidi + Ni) i keramičkih materijala. Glavni razlog kasnijeg razvoja sinteriranja čelika predstavljao je problem proizvodnje osnovne sirovine tj. željeznog ili čeličnog praha.

**AISI-SAE** kvaliteta alatnog čelika je najčešća skala koja se koristi za identifikaciju različitih kvaliteta alatnog čelika. Pojedinačnim legurama, unutar jednog kvaliteta, dat je broj; naprimjer: A2, O1, itd.

AISI-SAE kvaliteta alatnih čelika

| Definišuća osobina | AISI-SAE kvalitet | Značajne osobine |
|---|---|---|
| Vodeno kaljenje | W | |
| Rad u hladnoj sredini | O | Uljano kaljenje |
| | A | Zračno kaljenje; Srednjelegirani |
| | D | Visok sadržaj karbona; Visok sadržaj hroma |
| Otporan na udare | S | |
| Čelik za velike | T | Volframova baza |

| | | |
|---|---|---|
| brzine | M | Molibdenova baza |
| Rad u toploj sredini | H | H1–H19: hromova baza<br>H20–H39: volframova baza<br>H40–H59: molibdenova baza |
| Plastični kalup | P | |
| Posebne svrhe | L | Niskolegirani |
| | F | Karbon volfram |

## 7.2. Termička obrada alatnih čelika

Alatni čelici se primjenjuju u toplinski obrađenom stanju (kaljenje i popuštanje). Dodatno se mogu provesti neki od postupaka oplemenjivanja površine. Poboljšavanje svojstava alata površinskim toplinskim obradamauglavnom se provodi sljedećim postupcima:
-površinsko kaljenje (plameno, indukcijsko, lasersko, elektronskim snopom, impulsno),
-termokemijski postupci (cementacija, nitriranje, karbonitriranje, boriranje, oksidacija, difuzija metalnih elemenata: volfram, krom, aluminij, silicij),
-tvrdo elektrokemijsko kromiranje,
-nanošenje karbida, nitrida, karbonitrida i oksida iz parne faze (CVD i PVD postupci),
-nanošenje dijamantnih slojeva ili DLC (engl. *Diamond Like Carbon*).
Zbog traženih svojstava i potrebe zakaljivanja i prokaljivanja alatni čelici u pravilu imaju viši udio ugljika (> 0,6%) nego konstrukcijski čelici. Uglavnom se isporučuju u toplovaljanom, hladnovučenom, kovanom ili lijevanomstanju u obliku šipki, traka ili ploča.

### Kvaliteti alatnog čelika kaljenog vodom

Kvalitet alatnog čelika "W" dobio je naziv po osobini da se kali vodom. Čelik kvaliteta "W" je, u suštini, ugljični čelik, sa velikim udjelom karbona. Ova vrsta alatnog čelika najčešće korištena zbog svoje niske cijene u uporedbi sa drugim alatnim čelicima. Veoma su pouzdani na malim dijelovima i primjenama gdje se ne sreću visoke temperature; iznad 150°C počinje da omekšava. Kaljivost je niska, tako da alatni čelici kvaliteta "W" moraju biti kaljeni u vodi. Ovi čelici mogu imati jako veliku tvrdući (iznad HRC 60), te se veoma krti, u odnosu na druge alatne čelike.

Kvalitet za visoke brzine:
Kvaliteti "T" i "M" alatnog čelika se koriste za rezajuće alate gdje se čvrstoća i tvrdoća moraju održati pri temperaturama koje prelaze 760°C. Kvalitet "M" alatnog čelika razvijen je da bi se spanjila količinska upotreba volframa i hroma.
T1 (poznat i kao 18-4-1) je uobičajna legura "T" kvaliteta. Njen sastav je 0,7% karbona, 18% volframa, 4% hroma i 1% vanadijuma. M2 je uobičajna legura "M" kvaliteta.

## Žarenje

Žarenje je postupak termičke obrade čelika, koji se sastoji od zagrevanja čelika na određenoj temperaturi, držanja na ovoj temperaturi i zatim sporog hlađenja.

**Meko žarenje**
Mekim žarenjem se postiže omekšavanje čelika, radi lakše dalje mehaničke obrade, a takođe se dobija zrnasta perlitna ili neka druga tražena mikrostruktura.
Nakon izvršene vruće prerade mnogi čelici su previše tvrdi, za dalju mehaničku obradu. Takve čelike moramo zbog same sposobnosti za obradu omekšati mekim žarenjem
Pored lakše mehaničke obrade, povećava se sposobnost plastične deformacije, što je od velike važnosti za sve vrste hladne prerade (hladno valjanje, izvlačenje, hladno vučenje).
**Izotermalno žarenje**
Izotermalnim žarenjem postiže se ravnomerniji kvalitet, dok je vreme žarenja znatno kraće. Izotermalno žarenje se dosta primenjuje kod brzoreznih čelika i kod nekih vrsta legiranih čelika, kod kojih se ukupno vreme žarenja može skratiti na jednu trećinu uz jednak ili bolji kvalitet.
Izotermalno žarenje zamenjuje normalizaciju i kao takvo najčešće se izvodi kod legiranih čelika kod kojih bi obična normalizacija mogla prouzrokovati već nastanak martenzita ili bajinita.
**Žarenje za rastvaranje sekundarnog cementita**
Kod nadeutektoidnih čelika ponekad je sekundarni cementit prisutan u veoma nepovoljnom obliku mreže, što može prouzrokovati krtost. Za rastvaranje cementitne mreže moramom čelik žariti na temperaturi koja nam osigurava da postignemo čist austenit. Nakon rastvaranja sekundarnog cementita u austenitu moramo sprečiti ponovno izlučivanje u nepovoljnom obliku brzim ohlađivanjem čelika do temperature ispod 700°C.

**Visoko žarenje na krupno zrno (za bolju obradivost)**
Žarenje na krupno zrno primenjuje se kod mekih čelika s niskim sadržajem ugljenika. Temperaturno područje visokog žarenje je 100 do 200°C iznad gornje tačke preobražaja Ac3. Izotermički preobražaj je veoma pogodno izvršiti na temperaturi koja omogućava preobražaj u najkraćem vremenu. Posle presferoidizacije može se čelik hladiti na vazduhu.
Sa ovim žarenjem dobijamo diferenciranu strukturu ferita i perlita.

Za čelike sa manjim i srednjim sadržajem ugljenika meko žareno stanje nije uvek povoljno za obradu skidanjem strugotine. Zbog njihove male čvrstoće kod ovih čelika dolazi do lepljenja strugotine pri obradi, a time i lošeg kvaliteta obrađene površine. Za ove čelike, pored feritno perlitna struktura sa lamelarnim perlitom, koja se takođe dobija i normalizacijom, povoljno je to što se kod žarenja dobija još i krupno zrno. Za mehaničku obradu skidanjem strugotine krupno zrno se pokazalo kao vrlo povoljno i omogućava najbolju izdržljivost alata. Visoko žarenje upotrebljava se za proizvode koji se dosta mehanički obrađuju. Ako se od proizvoda zahtevaju i dobra mehanička svojstva, moramo posle završetka mehaničke obrade, deo normalizovati ili poboljšati da bismo dobili fino zrnu strukturu.

**Difuziono žarenje ili žarenje na homogenizaciju**

Pod difuzionim žarenjem se podrazumeva dugotrajno žarenje na visokim temperaturama u cilju izjednačavanja lokalnih razlika koncetracija pojedinih hemijskih elemenata i izjednačavanja segregacija, koje su nastale pri očvršćavanju čelika. Difuziono žarenje vrlo dugo traje i vrši se kod temperatura visoko iznad Ac3 u blizini solidus temperature čelika. Temperaturni interval difuzionog žarenja je u području 1050 do 1300°C u zavisnosti od vrste čelika. Više temperature primenjuju se kod niskougljeničnih čelika .

Difuzionim žarenjem čelika nastaje vrlo grubo zrno. To grubo zrno moramo smanjiti pomoću naredne vruće prerade ili prekristalizacije, koju treba često i više puta ponoviti.

Ovo žarenje dolazi u obzir samo u posebnim slučajevima zbog nedostataka, koje uzrokuje dugotrajno držanje čelika na vrlo visokim temperaturama. Zbog navedenih nedostataka posle žarenja izvodi se naknadno još normalizacija za poboljšanje mehaničkih svojstava.

**Rekristalizacija**

U toku hladne prerade (valjanje, vučenje ili kovanje u hladnom stanju) dolazi do povećanja tvrdoće, čvrstoće i granice razvlačenja dok se izduženje, kontrakcija i žilavost jako smanjuju. Deformisanje kristalnih zrna prouzrokuje krtost čelika.

Mehanička otvrdnjavanja, promene fizičkih svojstava i deformacije strukture, koje prouzrokuje hladna deformacija, možemo delimično ili potpuno otkloniti žarenjem na odgovarajućoj temperaturi za rekristalizaciju.

Za rekristalizaciju je potrebno prekoračenje nekog određenog kritičnog stepena deformacije. Za različite stepene prerade potrebno je utvrditi i odgovarajuće uslove rekristalizacije, pa možemo reći da svaki stepen deformacije ima određenu tipičnu kritičnu temperaturu rekristalizacije.

**Žarenje u cilju otklanjanja unutrašnjeg naprezanja**

Žarenje u cilju uklanjanja ili smanjenja unutrašnjih naprezanja vrši se u svakom slučaju zagrevanjem do temperature ispod tačke preobražaja Ac1 ,a najčešće između 550 i 650°C, laganim ohlađivanjem nakon zadržavanja 1 do 2 sata na temperaturi, posle izjednačavanja temperature po čitavom preseku. U ovom procesu se smanjuju, odnosno izjednačavaju unutrašnja naprezanja koja ostaju u čeliku kao posledica prethodne

mehaničke ilil termičke obrade. Žarenje u cilju smanjenja unutrašnjih naprezanja ne izaziva nikakve druge strukturne promene niti promene osobina čelika. Zbog toga moramo za ovo žarenje čelika izabrati temperaturno područje, u kojem prema dijagramu stanja ne prelazimo nijednu liniju preobražaja. Za uspeh ovog žarenja od odlučujuće važnosti je lagano ohlađivanje.

**Normalizacija**

Normalizacija je postupak žarenja sa potpunom prekristalizacijom, koja se postiže zagrevanjem čelika na temperaturi iznad Ac3 i potom hlađenja na vazduhu.

Normalizacija čelika je postupak termičke obrade koji čelik dovodi iz nenormalnog u normalno stanje. Cilj normalizacije je poboljšanje mehaničkih osobina na osnovu sitnijeg zrna i ravnomernije strukture, poboljšanje obradivosti kao i priprema strukture za naredne operacije termičke obrade. Za razliku od žarenja u procesu normalizacije vrše se bitne strukturne promene. Normalizacija se sprovodi samo kod podeutektoidnih čelika, dok se eutektoidni i nadeutektoidni čelici normalizuju samo u izuzetnim slučajevima.

Normalizacija kod čeličnih odlivaka odstranjuje grubu livenu strukturu koja je za postizanje dobrih mehaničkih osobina veoma nepoželjna. Često moramo normalizovati i kovani i valjani čelik, ako nakon vruće prerade ima bilo kakvu nenormalnu ili grubozrnastu strukturu, koja mu ne daje tražene mehaničke osobine.

Normalizacijom se bitno poboljšavaju mehaničke osobine, a naročito žilavost čelika. Kod nekih čelika se normalizacijom postiže takvo poboljšanje mehaničkih osobina da ovo predstavlja i završnu termičku obradu. Još češće normalizacija predstavlja neku vrstu prethodne termičke obrade sa zadatkom da pripremi strukturu radi uspešnijeg i ravnomernijeg kaljenja.

Kod visokougljeničnih, a naročito legiranih čelika normalizacijom se dobija relativno velika tvrdoća, koja ne omogućava dobru obradivost, dok neke vrste niskougljeničnih čelika baš za poboljšanje obradivosti moramo normalizovati.

Kod niskougljeničnih čelika normalna meko žarena struktura sa zrnastim perlitom je isuviše mekana za obradu skidanjem strugotine ili brušenjem. Pri obradi ovih čelika postoji opasnost nalepljivanja strugotine na alate. Usled toga ne može se postići čista i glatka obrađena površina, što naročito važi za brušenje. Za dobru obradivost, a istovremeno dobar kvalitet obrađene površine niskougljenični čelici naročito oni za cementaciju, treba da imaju feritno-perlitnu lamelarnu strukturu, koja se dobija normalizacijom.

Čelici, koji se upotrebljavaju bez naknadnog poboljšavanja po pravilu se normalizuju, da bi dobili što bolja svojstva: čvrstoću, plastičnost i žilavost.

## Gašenje

Gašenje je postupak termičke obrade nerđajućih, vatrootpornih i nekih drugih vrsta austenitnih čelika, kao i nekih vrsta čisto feritnih čelika. Gašenje ima za cilj homogenizaciju, postizanje čistih monofaznih

struktura i rastvaranje karbida ili drugih strukturnih faza. Nakon gašenja austenitni čelici dobijaju minimalnu tvrdoću i maksimalnu žilavost.

## Kaljenje

Kaljenje je postupak termičke obrade, koji se sastoji iz zagrevanja čelika na temperaturi 30 do 50°C iznad kritične tačke Ac3 (ili Ac1 kod eutektoidnih i nadeutektoidnih čelika), držanja na ovoj temperaturi i brzog hlađenja u vodi, ulju, vazduhu ili nekom drugom sredstvu za kaljenje. Hlađenje se mora vršiti tolikom brzinom, da se postigne na površini ili po čitavom preseku znatno povećavanje tvrdoće, po pravilu putem stvaranja martenzitne strukture.

U zavisnosti od vrste čelika, dimenzije komada i rashladnog sredstva kaljenje može biti:

- po čitavom preseku, ako je tvrdoća približno jednaka na površinskom sloju kao i u jezgru,
- plitkom kaljenju, ako je okaljen samo površinski sloj, dok je jezgro mekano,
- kaljenju na određenu dubinu, kada se kali određena dubina površinskog sloja

Kaljenje čelika je toplinska obrada kojom se postiže otvrdnuće čelika. Ono se sastoji od austenizacije (zagrijavanje u γ-područje ili austenit) i ohlađivanja takvom brzinom da se znatan dio (najbolje cijeli dio) austenita pretvori u martenzit. Temperatura kaljenja (austenizacije) iskustveno se izračunava primjenom vrijednosti temperature $A_{c3}$ (za podeutektoidne) i temperature $A_{c1}$ (za nadeutektoidne čelike):

**$T_K = A_{c3} + (30 – 70)$ K; odnosno $T_K = A_{c1} + (50 – 70)$ K**

Kod čelika su te temperature uvijek navedene, i to s napomenom u kojem se sredstvu čelik kali. Kaljenje može biti u u slanoj vodi, vodi, ulju ili zraku.

## Površinske prevlake

Tvrde zaštitne prevlake tanki su slojevi materijala koji štite površinu alata ili konstrukcijskih dijelova od trošenja. To je dio tzv. metalurških prevlaka koje općenito karakterizira velika tvrdoća, visoko talište, kemijska otpornost i mali faktor trenja. Za tvorbu tvrdih prevlaka pogodno je više anorganskih (keramičkih) materijala koji se prema vrsti kemijske veze dijele u 3 skupine:

- $Al_2O_3$, $ZrO_2$, $TiO_2$ (prevladava ionska veza),
- SiC, AlN, dijamant, $B_4C$ (prevladava kovalentna veza),
- TiN, TiC, WC (prevladava metalna veza).

Učinkovitost tvrdih prevlaka može se povećati primjenom višeslojnog prevlačenja. Tvrde (metalurške) prevlake mogu se nanositi po jednom od postupaka koji spadaju u skupinu CVD (kemijsko nanošenje iz parne faze) ili PVD (fizikalno nanošenje iz parne faze). Prvi se postupci obično provode pri znatno višim temperaturama (najčešće od 800 ºC do 1000

ºC), a drugi pri temperaturama 200 ºC do 500 ºC, što je važno za svojstva toplinski otvrdnute podloge (npr. alata,strojnog dijela itd.).

## Otpuštanje (popuštanje)

Otpuštanje se mora izvršiti odmah nakon kaljenja ili u što kraćem vremenu nakon kaljenja. Otpuštanje je obavezno i neposredno pripada kaljenju. Zbog toga mnogi kaljenje i otpuštanje tretiraju kao jedan postupak termičke obrade. Otpuštanje je zagrevanje čelika nakon kaljenja na određenu temperaturu, koja je uvek ispod preobražajne temperature Ac1. Posle odgovarajućeg vremena zadržavanja na temperaturi otpuštanja čelik se opet ohladi do sobne temperature. Ohlađivanje s temperature otpuštanja može biti lagano ili brzo u zavisnosti od sklonosti čelika krtosti kod otpuštanja. Karakteristično za ovaj postupak je to, da se u čeliku ne vrši nikakav preobražaj strukture, nego samo u izvesnoj meri dolazi do otpuštanja naprezanja i strukture nastale kod kaljenja čelika. Čelik sa martenzitnom strukturom, u kaljenom stanju, zbog velike tvrdoće, krtosti i unutrašnjih naprezanja praktično nije upotrebljiv ni za alate niti za konstrukcije delova. Zbog toga treba pomoću otpuštanja u kaljenom čeliku smanjiti unutrašnja naprezanja i tvrdoću, a istovremeno povećati žilavost. Zajedno sa opadanjem tvrdoće pri otpuštanju se smanjuje i čvrstoća i granica razvlačenja, a povećava žilavost, izduženje i kontrakcija. Ove promene utoliko su veće, ukoliko je viša temperatura otpuštanja. Efekat otpuštanja na visokim temperaturama u blizini Ac1 približava se efektu žarenja.

Opuštanje je toplinska obrada, u pravilu nakon kaljenja, kako bi se postigla određena svojstva, prije svega žilavost i duktilnost. Sastoji se od zagrijavanja na određenu temperaturu (ispod $A_{c1}$), izotermnog držanja na toj temperaturi (npr. 1 sat) i ohlađivanju primjerenom brzinom. Postupak se može i ponoviti. Nakon kaljenja, čeliciimaju veliku čvrstoću, ali su veoma krhki. Popuštanjem se povećava žilavost kaljenog čelika, a smanjuje se čvrstoća.

Martenzitna je mikrostruktura čelika nestabilna i mijenja se pri zagrijavanju na povišene temperature. Promjene ovise o temperaturi popuštanja koja seže od približno 100 ºC do temperature $A_{e1}$. Odabirom temperature popuštanja mogu se postići sve moguće vrijednosti čvrstoće čelika između kaljenog i praktički žarenog(sferoidiziranog) stanja. Metal se grije drži neko vrijeme na dovoljno visokoj temperaturi i potom sporo hladi.

**Posljedice popuštanja su:**

-smanjenje tvrdoće i krhkosti,
-promjena mikrostrukture,
-omekšavanje metala kako bi se lakše deformirao materijal ili odvajala strugotina,
-rekristalizacija na hladno obrađenog materijala,
-otpuštanje zaostalih naprezanja.

**Vrste popuštanja:**

Popuštanje se može podijeliti na:
-niskotemperaturno popuštanje (manje od 220 ºC),
-srednjetemperaturno popuštanje (od 220 ºC do 400 ºC),
-visokotemperaturno popuštanje (više od 400 ºC).

### Tvrdoća čelika

Tvrdoća čelika (martenzita) nakon kaljenja ovisi najviše o udjelu ugljika. Kod čelika s malim udjelom ugljika (manjim od 0,25%) nakon kaljenja se postiže premala tvrdoća, a i zbog djelomičnog razugljičenja površine. Zbog toga se čelici s udjelom ugljika manjim od 0,3% u pravilu ne kale, za razliku od čelika za poboljšanje s udjelom ugljika od 0,3% do 0,6%. Pri kaljenju nastaju u čeliku naprezanja zbog fazne pretvorbe (razlike u obujmima između austenita i martenzita). Zbog tih naprezanja čelik se može deformirati ili puknuti. [4]

Minimalna naprezanja (teorijski nula) u čeliku postižu se tzv. kaljenjem bez naprezanja (martempering), što je poseban oblik stupnjevitog kaljenja pri kojem nastaje martenzit istovremeno po cijelom presjeku. Naprezanja kaljenja smanjuju se također i primjenom tzv. prekinutog kaljenja, kada se čelik kali u sredstvu s većim, a zatim s manjim intenzitetom ohlađivanja.

Unutarnja naprezanja u kaljenom čeliku smanjuju se izotermnim žarenjem (popuštanjem) na temperaturama od 150 ºC do 200 ºC (bez osjetnog sniženja mehaničkih svojstava čelika) ili toplinskim obradama koji slijede nakon kaljenja.

Kaljivost čelika, odnosno njegova tvrdoća nakon kaljenja, ovisi prije svega o udjelu ugljika u čeliku. Tvrdoća martenzita se povećava s povećanjem udjela ugljika u martenzitu do približno 0,6%.

Prokaljivost je mogućnost zakaljivanja čelika u dubinu, a ovisi o više utjecajnih čimbenika. Najveći utjecaj na prokaljivost imaju legirni elementi. Prokaljivost jedni povećavaju (Mn, Cr, Mo, Ni), a drugi ju smanjuju (Co, Al, Ti, V). Djelovanje na prokaljivost ovisi o vrsti pojedinačnih legirnih elemenata ili o skupini legirnih elemenata, te o njihovim udjelima. Djelovanje ugljika na prokaljivost zanemarivo je u usporedbi s djelovanjem legirnih elemenata. Prokaljivost čelika uspoređuje se na temelju Jominyjeva pokusa, a prokaljivost čeličnih dijelova ocjenjuje se na osnovi kritičnog promjera, koji se određuje po Grossmannovoj metodi.

### Poboljšavanje

Poboljšanje je postupak termičke obrade čelika, koji se sastoji iz kaljenja i otpuštanja na relativno visokoj temperaturi, koje se često približavaju temperaturama mekog žarenja. S obzirom na upotrebljena rashladna sredstva pri kaljenju govorimo o poboljšenju u vodi, ulju ili na vazduhu.

Pri poboljšanju u čeliku dobijamo uglavnom sorbitnu ili troostitnu strukturu. Poboljšanje se, uglavnom primenjuje u termičkoj obradi konstrukcionih i nekih alatnih čelika, a ima za cilj poboljšanje mehaničkih osobina, a naročito žilavosti.

## Oznake alatnih čelika

Oznaka čelika sastoji se od tri dijela:

**Č.XXXX.X**

- Prvi dio je slovni simbol Č

- Drugi dio oznake čelika sastoji se od četiri brojčana simbola
- Treći dio oznake čelika sastoji se od jednog ili dva brojčana simbola

a) Čelici sa negarantovanim sastavom

**Č.0XXX**

- Simbol na prvom mjestu je 0
- Simbol na drugom mjestu označava grupu minimalne zatezne čvrstoće (tabela I)
- Simbol na trećem i četvrtom mjestu označava redni broj čelika (tabela II)

| Tabela I | |
|---|---|
| **Simbol** | **Čvrstoća ( $N/mm^2$ )** |
| 0 | - |
| 1 | ... 330 |
| 2 | 340 ... 360 |
| 3 | 370 ... 390 |
| 4 | 400 ... 490 |
| 5 | 500 ... 590 |
| 6 | 600 ... 690 |
| 7 | 700 ... |

| Tabela II |
|---|
| 0 ... 44 ugljenični čelici sa negarantovanom čistoćom i čelici trgovačkog kvaliteta |
| 44 ... 89 ugljenični čelici sa garantovanom čistoćom |
| 90 ... 99 slobodno |

b) Ugljenični i legirani čelici sa garantovanim sastavom

Simboli na prvom i drugom mjestu:
KOD UGLJENIČNIH ČELIKA

- Simbol na prvom mjestu je 1
- Simbol na drugom mjestu je desetostruka vrijednost maksimalnog procenta ugljenika zaokružena na desetine; npr. brojni simbol za 0.9% C je 9

KOD LEGIRANIH ČELIKA

- Simbol na prvom mjestu je oznaka najuticajnijeg legirajućeg elementa (tabela III)
- Simbol na drugom mestu je oznaka drugog (po redu) najuticajnijeg legirajućeg elementa (tabela III); za jednostruko legirane čelike brojni simbol je 1.
- 

| **Tabela III** |
|---|

| Element: | C | Si | Mn | Cr | Ni | W | Mo | V | drugi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oznaka: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Pod najuticajnijim legirajućim elementom podrazumijeva se onaj kome pripada najveći proizvod sadržaja elemenata (%) u čeliku i faktora vrijednosti (tabela IV).

| **Tabela IV** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Element: | Si | Mm | Cr | Ni | W | Mo | V | Co | Ti | Cu | Al | drugi |
| Faktor vrednosti: | 1 | 1 | 4 | 4 | 7 | 14 | 17 | 20 | 30 | 1 | 1 | 30 |

Ako višestruko legirani čelici imaju više elemenata sa istim proizvodom, računaće se najuticajniji onaj element kome oznaka ima veći broj.
Simboli na trećem i četvrtom mjestu označavaju redni broj čelika:
00 ... 19 – čelici koji nisu namjenjeni za termičku obradu
20 ... 29 – čelici za cementaciju
30 ... 39 – čelici za poboljšanje
40 ... 49 – ugljenični i niskolegirani alatni čelici
50 ... 59 – visokolegirani alatni čelici
60 ... 69 – čelici sa posebnim fizičkim svojstvima
70 ... 79 – hemijski otporni i vatrostalni čelici
80 ... 89 – slobodno
90 ... 99 – čelici za automate
Dopunska oznaka označava stanje čelika. Dva brojčana simbola mogu nastati samo kombinacijom brojčanih simbola. Na primer vučeno i žareno stanje označava se dopunskom oznakom 51.
0 – bez određene termičke obrade
1 – žaren
2 – mehko žaren (žareno na najbolju obradivost)
3 – normalizovan
4 – poboljšan
5 – hladno deformisan
6 – ljušten ili brušen
9 – obrađen po posebnim uputstvima
Ova oznaka se ne odnosi na gotove ugrađene dijelove, pa je ne treba upotrebljavati kao oznaku materijala na crtežima.Dopunska oznaka odnosi se isključivo na poluproizvode, a koristi se u standardima i drugoj dokumentaciji koja se odnosi na porudžbine.

| | |
|---|---|
| **Č.1531 Ck 45** | Nelegirani alatni čelik sa 0.45%C. Najviše se koristi kao konstrukcioni čelik za poboljšanje. Srednja velika tvrdoć površine i uopšteno dobra žilavost, mala osetljivost na pukotine kod kaljenja. UPOTREBA: Za srpove, sekire, noževe, burgije za drvo, čekiće i drugi ručni alat |
| KOVANJE:1100-850°C; MEKO ŽARENJE: 650-700°C; tvrdoća posle | |

<table>
<tr><td colspan="2">žarenja:197HB max; KALJENJE:820-850°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 54 HRC; POPUŠTANJE: 100-130°C; tvrdoća: 60-48 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1731<br>Ck 60</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 0.65%C. Koristi se kao konstrukcioni čelik za poboljšanje. Velika tvrdoća površine i dobra žilavost jezgra. UPOTREBA: Držači za alat od brzoreznih čelika i tvrdih metala, čekići za razbijanje kamena, klješta, turpije. razni ručni alat, alati za poljoprivredu.</td></tr>
<tr><td colspan="2">KOVANJE: 1050-800°C; MEKO ŽARENJE:650-700°C;tvrdoća posle žarenja:231 HB max; KALJENJE: 800-930°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 61 HRC; POPUŠTANJE: 100-300°C; tvrdoća:64-50 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1740<br>OC 70</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 0.70%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Za čekiće i alate za kovanje, probijače za papir i kožu, turpije za drvo, noževi poljoprivrednih mašina, čelik za turpije, graverski alati, alati za sečenje i bušenje srednje tvrdog kamena.</td></tr>
<tr><td colspan="2">KOVANJE: 1050-800°C; MEKO ŽARENJE:680-720°C;tvrdoća posle žarenja: 180 HB max; KALJENJE: 790-820°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 63 HRC; POPUŠTANJE: 150-300°C; tvrdoća: 66-53 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1840<br>OC 80</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 0.8%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Za dleta za rad sa mekim metalima, pečare, noževi za makaze za rezanje mekih metala, čelik za turpije, alat za obradu drveta, alati za obradu srednje tvrdog i tvrdog kamena, makaze za papir.</td></tr>
<tr><td colspan="2">KOVANJE: 1050-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 190 HB max; KALJENJE: 780-810°C ulje; tvrdoća posle kaljenja: cca 64 HRC; POPUŠTANJE: 350-450°C; tvrdoća: 50-42 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1841<br>KOSE</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 0.80%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Čelik se upotrebljava isključivo za izradu kosa.</td></tr>
<tr><td colspan="2">KOVANJE: 1050-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 175 HB max; KALJENJE: 780-810°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 64 HRC; POPUŠTANJE: 150-350°C; tvrdoća: 50-42 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1940<br>OC100</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 1.0%C. UPOTREBA: Alati za rezanje navoja, razvrtači, matrice za presovanje, alat za sečenje, probijači, matrice za novac, brojevi za markiranje, vučeni prstenovi, frezeri za drvo, noževi za drvo, testere za drvo, džepni noževi, mesarski noževi, burgije za kamen, alat za obradu tvrdog kamena.</td></tr>
<tr><td colspan="2">KOVANJE: 1000-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 175 HB max; KALJENJE: 780-810°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 64 HRC; POPUŠTANJE: 150-350°C; tvrdoća: 50-42 HRC</td></tr>
<tr><td>Č.1941<br>OC100<br>extra</td><td>Nelegirani alatni čelik sa 1.0%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Za iste svrhe kao Č.1940, naročito za alate i konstrukcione delove koji pored tvrdoće zahtevaju i visoku žilavost jezgra kao npr.</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | klipovi za pneumatske čekiće. |
| | KOVANJE: 1000-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 200 HB max; KALJENJE: 760-800°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 64 HRC; POPUŠTANJE: 100-300°C; tvrdoća: 67-56 HRC |
| **Č.1943 OC 120** | Nelegirani alatni čelik sa 1.20%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Za jednostavne frezere, razvrtače, alate za urezivanje navoja, pneumatske i ručne sekače za tvrde metale, sekače za gravere, turpije, pera za pisanje itd. |
| | KOVANJE: 1000-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 210 HB max; KALJENJE: 760-790°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 66 HRC; POPUŠTANJE: 100-300°C; tvrdoća: 68-57 HRC |
| **Č.1944 OC 120 extra** | Nelegirani alatni čelik sa 1.20%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro. UPOTREBA: Za jednostavne frezere, razvrtače, alate za urezivanje navoja, pneumatske i ručne sekače za tvrde metale, sekače za gravere, turpije, pera za pisanje itd. |
| | KOVANJE: 950-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 210 HB max; KALJENJE: 760-790°C voda; tvrdoća posle kaljenja: cca 66 HRC; POPUŠTANJE: 100-300°C; tvrdoća: 68-57 HRC |
| **Č.1948 OCP135** | Nelegirani alatni čelik sa 1.30%C. Mala dubina prokaljivosti, velika tvrdoća površinskog sloja i žilavo jezgro i max. otpornost površinskog sloja prema trošenju. UPOTREBA: Najtvrđi nelegirani alatni čelik. Zato se upotrebljava za izradu naročito tvrdih malih i srednjih turpija. Posebna pažnja kod kovanja, kaljenja i žarenja. |
| | KOVANJE: 1000-800°C; MEKO ŽARENJE: 680-720°C; tvrdoća posle žarenja: 210 HB max; KALJENJE: 760-780°C voda NACl; tvrdoća posle kaljenja: cca 65 HRC; POPUŠTANJE: 100-300°C; |

Bosnia steel center
Sarajevo

nelegirani specijalni alatni čelici
NONALLOY SPECIAL TOOL STEELS

| broj STEEL NUMBER EN 10027-2 | oznaka DESIGNATION EN 10027-1 | STANDARD EN | primjena po CROSS REFERENCE SPEC. | OPIS DESCRIPTION | SASTAV COMPOSITION (%) | upotreba APLICATION |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.1520 | C70U | | DIN C 70 W1 | | C 0.65-0.74<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1525 | C80U | | DIN C 80 W1 (17350)<br>JUS Č1840,Č1842<br>ISO TC80 (4957)<br>NF Y90,Y80 (A35-590)<br>SS 1780<br>GOST U8A-1,2<br>UNS T72301<br>AISI W108<br>EU CT80 (96) | | C 0.75-0.85<br>Si 0.10-0.25<br>Mn 0.10-0.25<br>P ≤ 0.020<br>S ≤ 0.020 | |
| 1.1545 | C105U | | DIN C 105 W1 (17350)<br>JUS Č1940<br>ISO TC105 (4957)<br>NF Y105,Y80 (A35-590)<br>SS 1880<br>GOST U10A-1,2<br>UNS T72301<br>AISI W110<br>EU CT105 (96) | | C 1.00-1.10<br>Si 0.10-0.25<br>Mn 0.10-0.25<br>P ≤ 0.020<br>S ≤ 0.020 | |
| 1.1554 | C110U | | DIN C 110 W<br>JUS Č1946<br>BS 1407 | | C 1.00-1.10<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1563 | C125U | | DIN C 125 W<br>JUS Č1943<br>ISO TC120 (4957)<br>NF Y12 (A35-590)<br>GOST U13-1<br>UNS T72301<br>AISI W112<br>EU CT126 | | C 1.20-1.35<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1573 | C135U | | DIN C 135 W<br>JUS Č1948<br>ISO TC140 (4957)<br>NF Y140 (A35-590) | | C 1.30-1.45<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1620 | | | DIN C 70 W2 (17350)<br>JUS Č1740<br>ISO TC70 (4957)<br>NF Y75<br>GOST U7<br>EU CT70 (96) | | C 0.65-0.74<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1625 | | | DIN C 80 W2<br>ISO TC80 (4957) | | C 0.75-0.85<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1645 | | | DIN C 105 W2<br>ISO TC105 (4957) | | C 1.00-1.10<br>Si 0.10-0.30<br>Mn 0.10-0.35<br>P ≤ 0.030<br>S ≤ 0.030 | |
| 1.1730 | C45U | | DIN C 45 W (17350)<br>JUS Č1540 | | C 0.40-0.50<br>Si 0.15-0.40<br>Mn 0.60-0.80<br>P ≤ 0.035<br>S ≤ 0.035 | |

## 9. TERMOHEMIJSKA OBRADA

Termohemijskom obradom naziva se termička obrada koja se izvodi kao kombinacija termičkog i hemijskog dejstva sa ciljem da se izmeni sastav, struktura i svojstva površinskog sloja. Termohemijski postupci obrade sastoje se u zagrijavanju i držanju predmeta obrade na temperaturi na kojoj je moguće odvijanje procesa difuzije iz aktivnih, difundirajućim elementima bogatih sredina, koje mogu biti čvrste, tečne, gasovite ili u obliku plazme.

Proces termohemijske obrade sastoji se od:

- obrazovanja aktivnih atoma elemenata u blizini površine ili neposredno na površini metala,
- dodira atoma difundujućih elemenata s površinom i njihovo rastvaranje u rešetki željeza (adsorpcija i apsorpcija),
- difuzije apsorbovanih atoma elemenata u dubinu metala.

Od termohemijskih postupaka obrade čelika, najčešće se primjenjuju slijedeći:
cementacija,nitriranje,karbonitriranje,sulfidizacija,aluminiranje,siliciranje,kromiranje,
boriranje i cinkovanje.

Promjenom hemijskog sastava površinskog sloja predmeta obrade postižu se nova, za eksploataciju poželjna, hemijska svojstva površinskog sloja. Cilj termohemijskih postupaka obrade je da se izvrši otvrdnjavanje radne površine predmeta obrade i na taj način poveća tvrdoća, otpornost na habanje, dinamička čvrstoća, toplotna izdržljivost i druge karakteristike kao npr. povećanje otpornosti na agresiovno djelovanje vanjske sredine na različitim temperaturama tj. povećanje otpornosti na koroziju i eroziju, kao i na djelovanje kiselina i oksidaciju.

## 9.1. Osnovne osobine bora

Tabela 1. Podaci o kristalnoj građi bora

| **Modifikacija** | **Amorfna** | **Kristalna** |
|---|---|---|
| **Boja** | Smeđa | Crno-siva |
| **Faze** | α β | γ |
| **Temperatura nastajanja, °C** | 800-1100 ≥1300 | 1100-1300 |
| **Tip rešetke** | romboedarska | tetragonalna |
| | a=1,789 nm<br>b=0,895 nm<br>c=1,015 nm | |

Tabela 2. Mehaničke osobine

| | **Amorfno stanje** | **Kristalno stanje** |
|---|---|---|
| **Gustoća** | 1,73 g/cm3 | α mod. 2,46 g/cm3<br>β mod. 2,35 g/cm3<br>γ mod. 2,37 g/cm3 |
| **Tvrdoća po Mohsu** | 9,3 | |
| **Zatezna čvrstoća** | Amorfno stanje 1,6-2,4 Mpa | |

| | | |
|---|---|---|
| | U vlaknima 2,6-3,1 MPa | |
| **Pritisna čvrstoća** | 0,5 MPa | |
| **Modul elastičnosti** | 440 MPa | |

Tabela 3. Termodinamički podaci

| | |
|---|---|
| **Tačka paljenja** | 70°C |
| **Tačka topljenja** | 2300°C |
| **Tačka ključanja** | 2550°C |
| **Koeficijent toplotnog širenja** | 20-750°C 1,1-8,3 nm/m.k |
| **Latentna toplota isparavanja** | 34 900 kJ/kg |
| **Latentna toplota topljenja** | 22000 kJ/kg |
| **Latentna loplota izgaranja** | 5,4 kJ/kg |
| **Koeficijent difuzije u γ – Fe** | D= 0,002 $e^{-21000\,RT}$<br>Za t=1000°C : D=0,002 |

## 9.2. Boriranje

„Oblaganje“ borskom, gasovitom difuzijom ili boriranje je proces hemijskog depozicionog isparenja pri visokim temperaturama, prilikom čega atomi bora difunduju u osnovu metala komponenta te stvaraju novu metaluršku leguru na površini. Legura je tako integralni deo baričnog metala. Oni poseduju vrlo izražene osobine i nova površina legure dostiže vrlo visoku tvrdoću. Ova ojačana površina je ta koja rezultira dramatično unapređenje upotrebnog vijeka te komponente. Dubina dobijenog borskog sloja određena je temperaturom, dužinom trajanja tretmana i materijalom. Dubina boridnog sloja iznosi od nekoliko desetina [μm] pa do 0,3 [mm]. Borski slojevi mogu da se koriste vrlo efikasno kada dijelovi treba da izdrže abrazivno habanje. Borirani slojevi na mašinskim elementima i na dijelovima imaju niži koeficijent trenja i višestruko dužu trajnost (od 3 do 4 puta) nego ne borirani dijelovi.

Pored odličnih osobina boriranog sloja, primjena u tehnici mu je suviše mala, što je posledica sledećih razloga:

- boriranje je nov postupak koji još nije dovoljno poznat,
- kod obavljanja praktičnih proba nastaju neke teškoće o kojima niko ne saopštava ili se, pak,
- boriranje primjenjuje kod takvih dijelova o kojima se iz bilo kojih razloga ne daje javno saopštenje.

Boriranje spada u one termo-difuzijske postupke kod kojih se sadržaj difundirajućeg elementa (bora) u površinskim slojevima povisuje do 10%. Kod ovakve termo-difuzijske obrade difundirajući element spaja se sa pratećim elementima ili osnovnim metalom.
Boriranjem otvrdnuti površinski sloj čelika ima veoma visoku tvrdoću od 1400-1500 HV, dok tvrdoća samih borida iznosi i do 2000HV. Sloj

otvrdnut boriranjem odlikuje se velikom otpornošću na habanje i velikom krtošću. Zbog toga se boriranje primjenjuje za otvrdnjavanje površine dijelova koji rade u izrazito abrazivnim sredinama.

### 9.2.1. Metode boriranja

Postoji veliki broj metoda kojima se vrši boriranje, a najosnovnije su slijedeće četiri:
**Elektrolizno boriranje** izvodi se primjenom elektrolize rastopa boraksa ($Na_2B_4O_7$) pri čemu predmet obrade služi kao katoda, a za anodu se koristi grafitni štap. Proces se izvodi na temperaturi 950-1000°C u trajanju oko 4 sata, pri čemu se dobiva sloj dubine 0,15-0,30 mm.
Slabe strane ovog postupka su:
- vrlo visoka viskoznost rastopa omogućila je proces na temperaturama ispod 850°C, a na višim temperaturama prisutne su znatne teškoće radi nejednolikog rasporeda temperatura.
- stvrdnuta sol čvrsto prijanja uz borirani predmet, što s jedne strane onemogućava eventualno potrebu direktnog kaljenja, a s druge strane povećava troškove boriranja preko visokih troškova čišćenja,
- prisutna je vrlo intenzivna korozija lonca nezavisno od materijala od kojeg je urađen.

**Boriranje u sonim kupkama bez primjene procesa elektrolize** vrši se u solima koje se sastoje od mješavine boraksa i karbida bora (60-70% rastopljenog boraksa i 30-40% karbida bora). Boriranje ovom metodom vrši se na temperaturi 900-1000°C pričemu se postiže dubina boriranog sloja 0,25-0,40 mm za vrijeme boriranja od 5 sati.
Veliki nedostatak ove metode je velika gustoća sonog rastopa, uslijed čega se dosta soli iznosi sa dijelovima i na taj način čini proces neekonomičnim
**Boriranje u vakuumu** je proces koji je pogodan za obradu sitnih komada. Kao sredstvo za odavanje bora služi mješavina sastava 82-84% karbida bora  i 16-18% boraksa. Proces se izvodi na temperaturi od 950°C u trajanju od 6 sati pri čemu se postiže dubina boriranog sloja od 0,1 mm.
**Boriranje u plinskim sredstvima** vrši se u mješavini vodikborida ivodika ili borohlorida i vodika. Na temperaturi od 850°C u trajnosti od oko 2 sata postiže se dubina sloja od 0,15 mm.

### 9.2.2. Borirani sloj

Pri boriranju nisko i srednje ugljičnih čelika dobiva se borirani sloj igličastog oblika koji se sastoji od borida željeza, u površinskoj zoni FeB, a unutrašnju zonu čini $Fe_2B$. Kod legiranih čelika izgled boriranog sloja se unekoliko mijenja i ima manje izražen igličasti oblik.
Sloj FeB je nešto tvrđi (1800-2100 HV) nego $Fe_2B$(1300-1500 HV), ali ipak on se nastoji izbjeći iz slijedećih razloga:
- sloj FeB je krtiji od Fe2B, toplotne dilatacije izmedju FeB
- među slojevima FeB i Fe2B vladaju visokonaponska stanja,
- postoji velika razlika u koeficijentima toplotne dilatacije izmedju FeB i Fe2B, pa postojanje dvoslojnosti ograničava mogućnost toplotnog opterećenja.

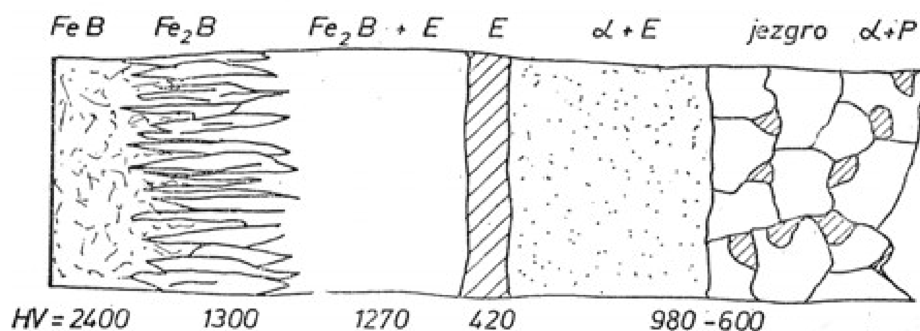
### 9.2.3. Primjena boriranja

Određeni postupci termohemijske obrade imaju sve veću primjenu u praksi i u proizvodnim pogonima, kao uobičajeni postupci obrade. Međutim, neke metode još uvek nisu našle široku primjenu upraksi. Takav je slučaj sa boriranjem.
Boriranje se primenjuje u određenim uslovima kada se želi povećati otpornost prema trošenju (erozivnom, adhezivnom i abrazivnom). Za određene eksploatacione uslove moguće je, definisanjem parametara, postupka i načina boriranja, dobiti tražena svojstva. U nekim slučajevima, boriranjem srednjelegiranog čelika moguće je zamijeniti visokolegirani čelik (na primer boriranjem čelika Č 6444 uspešno se može zameniti visokolegirani alatni čelik za hladni rad). U Rusiji, prvo boriranje primjenjeno je kod dijelova izloženih abraziji u naftnoj industriji (delovi muljnih pumpi, alata za bušenje, itd.).
U posljednje vrijeme mnogo se radi na primjeni boriranja kod alata za obradu plastičnim deformisanjem, alata od brzoreznog čelika, kod dugih pužastih osovina, kao i kod raznih dijelova u industriji traktora i motora. Kao primjeri boriranih dijelova, mogu se navesti još i trnovi i žigovi za duboko izvlačenje, dijelovi mjenjača, valjci za graviranje, dijelovi za oblikovanje betona, kalupi za kovanje, mlaznice za livenje, dijelovi ventila, osovinice traktorskih gusenica i čelične N80 naftne cijevi.
Pri boriranju, hemijski sastav elementa bora će ispariti i reagovati sa čelikom i sa drugim legurama da bi se pretvorio u difuzni sloj dijelova, na ekstremno čvrstom sastavu koji ima superiornu otpornost na habanje. Dijelovi se boriraju u retorti zagrijavanjem u peći i upotrebom kontrolisane atmosfere koja sadrži komponente bora na temperaturama od 800 do 1000°C . Dijelovi zagrijani do temperatura u opsegu od 1800°F (982,2 °C), tokom nekoliko sati, moguodmah poslije tretmana boriranja da se stave u upotrebu koja zahtijeva ekstremno visoku otpornost na habanje. Izuzetno povećanje otpornosti na habanje zasnovano je na stvaranju borida željeza u površinskom sloju čelika.

## 9.3. Svojstva boriranog sloja

Za metale i legure kod kojih se ne postavljaju uslovi visoke žilavosti i udarnih opterećenja, već se traže specijalne površinske osobine kao što su abrazivna i koroziona postojanost, vatrostalnost kao i povećanje površinske tvrdoće može se primeniti hemijsko-termička obrada-boriranje.
Osnovni efekat koji se postiže boriranjem je povećanjeotpornosti na habanje, što je posledica velike *tvrdoće* boridnog sloja. U pogledu visine tvrdoće koja se može postići boriranjem podaci su različiti, a ima ih koji navode i tvrdoće od HV=3000 [kp/mm2]. Međutim, najčešće izmjerene vrednosti su između 1700 i 1900 [kp/mm2]. Kod legiranih konstrukcionih čelika sa 0.38 i 0.42 [%] ugljika *L. G. Voroshnin* i *L. S.Lyakhovich* su (*Izvestija* VUZ-*černaja metalurgija*, 1968, sv. 8, str. 121) izmerili tvrdoće boriranog sloja od HV 1800 do HV 2300 [kp/mm2]. Isti autori su ispitivali zavisnost tvrdoća boriranog sloja od temperature i trajanja boriranja, kao

i od vrste i količine legirajućih elemenata. Kod čelika sa *Ni, Mn, Cu, Al,*kao i ugljeničnih, sa povišenjem temperature boriranja tvrdoća nešto opada, a kod čelika sa *Mo* i *W* raste. Vreme boriranja praktično nema uticaja na tvrdoću. Pored tvrdoće boriranog sloja, na otpornost na habanje utiču i mikrotvrdoće faza koje obrazuju boridni sloj (*FeB, Fe2B* i faza α). *M. Balter* sa saradnicima odredio je (MiTOM, 1964, sv. 12, str. 39) strukturu boriranog sloja kod konstrukcionih čelika i mjerio mikrotvrdoću pojedinih komponenti strukture (pogledati sliku 1)




***Slika 1 - Šematski prikaz tvrdoće i strukture boridnog sloja***

Sa slike 1 uočljivo je da tvrdoće boridnih slojeva iznose oko 2000 HV. Iz karakteristika boridnih slojeva proizlazi da treba izbegavati istovremeno pojavljivanje oba tipa borida u sloju (različiti koeficijenti toplotne dilatacije, pojava velikih zaostalih naprezanja) koje može uzrokovati pukotina između slojeva i odvajanje sloja *FeB*. Nakon boriranja dijelovi se mogu naknadno zakaliti pri čemu se ne smije koristiti "oštro"sredstvo za hlađenje zbog mogućeg pucanja boridnog sloja.

### 9.3.1. Ponašanje boridnih slojeva na visokim temperaturama

Urađene su mnoge studije dobijanja boridnih slojeva, mehanizama boriranja, faza boridnih slojeva i njihovih karakteristika na sobnoj temperaturi. Sprovedeno je nekoliko naučnih istraživanja ponašanja boridnih slojeva na visokim temperaturama.

Mada je utvrđeno da se *FeB* faza mogla transformisati u *Fe2B* fazu kroz termičku obradu na visokim temperaturama, nije objavljeno više detalja i mehanizama transformacije boridnih slojeva. Nije poznat stanje/oblik borida na visokim temperaturama. Međutim, dobro je poznato da se procesi boriranja obično sprovode u sredinama sa visokim temperaturama, pa je neophodno proučiti visoko-temperaturno ponašanje boridnih slojeva u cilju dobijanja detaljnih informacija o mehanizmu boriranja. Štaviše, veliki broj boriranih radnih predmeta koriste se u sredinama sa visokim temperaturama, za koje je takođe potrebno znati visoko-temperaturno ponašanje slojeva.

### 9.3.2. Odnos temperature i tvrdoće boridnog sloja

Mjerenja tvrdoće u rasponu od sobne temperature do 1100°C, pokazuju da vrijednosti tvrdoće boridnog sloja i osnovnog metala variraju sa temperaturom. Primjećeno je da tvrdoća boridnog sloja i osnovnog metala opada sa temeraturom.Novija naučna istraživanja o temperaturnoj

postojanostiboridnih slojeva, sprovedena na čelicima pokazuju da tvrdoće boridnih slojeva imaju visoku vrednost HV 1858 na sobnoj temperaturi, koja je daleko veća od tvrdoće osnovnog metala. Boridni sloj još uvek sadrži relativno visoke vrednosti tvrdoće od HV 605 na temperaturi koja dostiže 600°C. Tvrdoće boridnih slojeva opadaju na nisku vrednost od HV 350 na temperaturi od 700°C. Ali vrednost tvrdoće je i dalje veća od vrednosti tvrdoće osnovnog metala. Tvrdoća boridnih slojeva je samo HV 110 na temperaturama od 900°C. To znači da boridni slojeviu potpunosti gube visoku tvrdoću na temperaturama od 900°C.
Tvrdoća boriranih dijelova mijeri se metodom VICKERS ili KNOOP na površni i na poprečnom presjeku ispitnih uzoraka koji su prethodno metalografski pripremljeni (u poliranom stanju). Kod ispitivanja se primenjuju mala opterećenja jer je boridni sloj vrlo krt pa bi upotrebom viših opterećenja došlo do njegovog pucanja. Ispitivanje tvrdoće provodi se opterećenjima od 1 N do 2 N (npr. HV0,1; HV0,2 ili HK01; HK02).
Posljedica visoke tvrdoće i njene postojanosti na povišenim temperaturama, a prema nekim autorima i u sredinama koje nagrizaju, jeste velika otpornost na habanje. Ova otpornost na habanje potvrđena je i u eksploatacionim uslovima. Ali, sasvim je sigurno da su za pravilnu primenu kod delova izloženih habanju neophodna dalja istraživanja.

### 9.3.3. Krtost boridnog sloja

Prema nekim autorima (*H. Kunst* i *O.Schaaber*), za visoke tvrdoće boriranog sloja, krtost je relativno niska, što se smatra najvećom vrijednošću boriranja. Mnogi se autori slažu u tome da je krtost boriranog sloja manja nego krtost nitriranog ili cementiranog sloja, ali je ona još uvek neriješen problem boriranja.
Naučnik*Gopalakrishnan* sa saradnicima je pokazao da ako se proces boriranja obavlja uz periodične prekide, proizvodi se promjena morfologije tipične boridne igle i dobija se poboljšanje nekih mehaničkih svojstava (žilavosti i duktilnosti).
Da bi smanjili krtost dvofaznog boridnog sloja, istraživano je nekoliko vrsta tretmana prije ili poslije boriranja, i to: cementacija, tretman laserom, brzo hlađenje (kvenčovanje), implantacija jona i gasno nitriranje. Boriranjem cementiranog čelika, preko predmeta je dobijeno smanjenje gradijenta mikrotvrdoće. U tretmanu laserom, gruba i stubična struktura boridnog sloja mogla se promjeniti u finozrnastu strukturu. Brzim hlađenjem, gradijent tvrdoće između boridnog sloja i substrata mogao bi biti smanjen. U implantaciji N jona, poremećen je dio *FeB* i *Fe2B* faza tako da su formirani slojevi: *c-BN*, *FeN* i *Fe2-3N*. U gasnom nitriranju, spoljašnji podsloj *FeB* može biti transformisan u duktilnu *Fe4N* fazu, dok unutrašnji podsloj*Fe2B* može biti transformisan u *Fe4N* i *B25N* faze.
U ovim istraživanjima agens boriranja je bio *B4C* (drugi agensi su *BCl3* i ferobor). Zbog problema vezanih za pucanje boridnog sloja, izgleda da se savetuje proučavanje mogućnosti korišćenjadrugog agensa boriranja koji stvara nizak potencijal boriranja, u cilju formiranja samo *Fe2B* faze površinskog sloja borida. U kasnijim eksperimentima korišten je boraks kao agens boriranja i ocjenjivana je otpornost prema abrazivnom habanju ugljeničnih i niskolegiranih čelika, termički tretiranih pomoću ovog

agensa. Rezultati su pokazali da čelici 1020, 1045, 4140 i 4340 mogu biti uspešno borirani u mešavini boraksa i silicijum karbida na 1000°C. Rezultat boridnog slojaje bio monofazni *Fe2B* sloj. Pri tome je maksimalnavrijednost mikrotvrdoće boridnog sloja za ove čelikebila veća od 2000 $HV_{0,1}$.

Među svim čelicima, borirani čelik 1020 pokazao je najbolju otpornost prema abrazivnom habanju.Boriranje ima različiti uticaj na statičku čvrstoću.Zatezna čvrstoća opada sa boriranjem, a pritisna čvrstoća raste sa porastom dubine boriranog sloja do jedne maksimalne vrednosti, pa zatim ponovo opada. Savojna čvrstoća i granica 0.2 rastu najprije brzo sa porastom dubine sloja, a zatim sporije. Žilavost boriranog komada opada vrlo malo, itd.

Jedan od najtežih problema boriranja je njegov nepovoljan uticaj na dinamičku čvrstoću, što se smatra glavnom preprekom široj primeni ovog postupka u mašinstvu.

## 9.4. Primjena postupaka na prijelaznim metalima

Borirane površine čelika uspješno se primenjuju već dugi niz godina. Međutim, u poslednjoj deceniji, ova tehnologija je proširena i na prelazne metale, gde je prostor za istraživanje ogroman. Boridi prelaznih metala imaju veliki broj korisnih hemijskih i fizičkih svojstava koji ih čine važnim materijalima sa istraživačke tačke gledišta. Među ovim karakteristikama su otpornost na habanje, visoka mehanička čvrstoća, visoka temperatura topljenja, otpornost na koroziju ukiselinama, itd. Oni se koriste za visoke temperaturekao što su retorte, kalupi za livenje, u avio industriji,itd.

Boridni slojevi na željeznim materijalima imaju odličnu kombinaciju svojstava, otpornosti na koroziju i habanje. Boridni slojevi na materijalima čija osnova nije željezo su poznati zbog njihove visoke tvrdoće, uključujući habajuća i korozivna svojstva. Titanijum i njegove legure, posebno privlače značajnu pažnju zbog svoje potencijalne upotrebe kao konstrukcioni materijali niske gustine i visoke temperature topljenja. Otpornost titanijuma i njegovih legura prema oksidaciji na visokim temperaturama može se poboljšati postupkom boriranja.

Nikl i njegove legure su poznate po njihovojupotrebi kao materijali otporni na koroziju pri povišenim temperaturama. Međutim oni nemaju otpornost na habanje, koja se može poboljšati postupkom boriranja. Slično tome, tantal i niobijum imaju traženi potencijal kao materijali za implantate u biomedicinskojindustriji. Njihova mehanička čvrstoća se može poboljšati boriranjem. Ovaj proces treba da bude izveden na višoj temperaturi za materijale čija je osnova željezo. Tipične temperature boriranja za prelazne metale kreću se između 900 °C i 1400°C.

Za razliku od železnih materijala, gde se boridi pojavljuju kao igličasti kristali, kod materijala čija osnova nije željezo, boridni sloj izgleda više kao stubična struktura. Igličasti kristali ili stubične strukture pomažu poboljšanju prijanjanja između sloja i osnovnog metala. Što se tiče prelaznog metala, tantala, najnovijim eksperimentalnim istraživanjima dobio se jedinstveni sloj sa stubičnom strukturom od 3µm dubine. Tokom istraživanja kinetike, uočeno je da je dubina sloja povećana

eksponencijalno sa temperaturom i paraboličnoje povećana sa vremenom. Dobijeni rezultati ukazuju da je polarizacioni otpor tantala povećan 8 puta u 4% *NaCl*, tako da se može zaključiti da je brzina korozije tantala smanjena za gotovo 8 puta. Za razliku od tantala, mnogo dublji sloj od 10μm dobijen je na niobijumu, koji pokazuje stubičnu strukturu borida. Mikrotvrdoća sloja je 3200 HK, što je gotovo 10 putaviše od osnovnog metala. Nakon boriranjapolarizacioni otpor niobijuma je povećan 9 puta.Ovim se može zaključiti da je 9 putasmanjena brzinakorozije niobijuma.
Ravnomjeran sloj dubok 11μm dobijen je navolframu, uz mikrotvrdoću sloja od 3200 HK. Polarizacioni otpor volframa u 4% *NaCl* povećan je 2 puta nakon boriranja. Dalja istraživanja su potrebna da bi se identifikovale razlike u fazama koje su prisutne u sloju.

## 9.5. Analiza obrađenih podataka

Boriranje je postupak termohemijske obrade čelika na koji utiče veliki broj različitih faktora. Medu najuticajnije faktore na postupak boriranja spadaju: temperatura boriranja, vrijeme držanja na temperaturi boriranja te vrsta čelika odnosno njegov hemijski sastav. Kako se boriranjem čelika postižu na površiniizratka boridni slojevi koji imaju tvrdoću 5 i više putavišu od tvrdoće samoga čelika, to će u slučajevima abrazivnog mehanizma trošenja sigurno biti opravdano primjeniti ovaj postupak u svrhu produženja vijeka trajanja izratka.
Na osnovu obrađenih podataka, možemo daklevideti, da površina često igra ključnu ulogu u određivanju veka trajanja: građevinskih elemenata korištenih u mašinogradnji, postrojenja i inženjerskih aparata. Riječ je dakle o svim površinama koje su napadnute od strane okolnih efekata, od kojih su najozbiljnijekorozija i habanje.
Ekonomija trpi ogromne gubitke svake godine, zbog korozije i habanja i napori da se zaštiti površina protiv ovih oblika napada zato su srazmerno veliki. Razvoj konstrukcionih materijala otpornih na habanje bio je logičan odgovor u borbi protiv habanja. Napori koje razvijene zemlje čine, radi smanjenja utroška energije i materijala, kao i za smanjenje ekoloških problema, ne mogu da dovedu do većih rezultata bez dodatnih istraživanja u svim oblastima tribologije. Najveće uštede moguće je ostvariti smanjenjem troškova održavanja i zamjenom pohabanih delova.
Budući da je habanje fenomen koji se javlja direktnona površini dijela, očigledno rešenje je da sepovršina modifikuje i učini otpornom na habanje. Ekstremno tvrde površine i otpornena habanje ostvarene su pomoću primjene premazaili difuzije u određenim mašinskim elementima.Boriranjem čelika postiže se povećanje površinsketvrdoće i otpornosti na habanje. Mehaničke osobinemjenjaju se boriranjem. Pored opadanja zateznečvrstoće, jedan od osnovnih problema jeste nepovoljanuticaj boriranja na dinamičku čvrstoću. Imajući uvidu i krtost borida *FeB*, uz činjenicu da je legirajućielementi *Cr, Mo* i *W* povećavaju, uspješno izvođenjeprocesa boriranja u smislu nastajanja odgovarajućegsloja, zahteva punu pažnju.Zato se u procesu boriranja teži formiranju strukturesloja koja sadrži samo *Fe2B* sa širom zonom αfaze i

sa potpunom testerastom vezom. Međutim,karakteristično je da se boridni slojevi ne mogu naprezatina istezanje, te u tom smislu, boriranje komadakoji u radnim uslovima trpe naprezanje na istezanjenije opravdano. Tvrdoća borida je vrlo visoka ina ovoj činjenici zasnovana je visoka otpornost nahabanje boriranog sloja.U slučaju prelaznih metala, mnoge osobine kaošto su mehanička čvrstoća, otpornost na habanje i otpornostna koroziju pri visokim temperaturama moguse poboljšati boriranjem.Tehnika je radno manje intenzivna, što čini ovajmetod manje isplativim u odnosu na druge procese termohemijske obrade. Djelimično uklanjanje boridnog sloja, što zahtijevaju uslovi tolerancija, moguće jesamo uz naknadno brušenje dijamantom, jer konvencionalnobrušenje izaziva pucanje sloja.

Ideja za povećanjem otpornosti na trošenje i hemijske postojanosti, uvođenjem u površinski sloj legirajućeg elementa bora, nastala u težnji da se štedi u skupim visoko legiranim čelicima. Pravilan izbor materijala i načina površinskog ojačavanja boriranjem, u smislu izbora adekvatnih komponenti procesa za neki konkretan dio je složen problem, a u svakom slučaju ima opšti cilj da se postigne poboljšanje onih osobina koje limitiraju vijek trajanja dijela.
Jednoznačna uputstva u ovom smislu bi bila od velike važnosti za konstruktora, ali na žalost u sistematskom obliku takvih uputstava nema u dovoljnom obimu. O ovim problemima se objavljivalo unaučno-stručnim radovima, koji se odnose najčešće na laboratorijska ispitivanja (na epruvetama za dinamičku čvrstoću ili uzorcima za univerzalne mašine za ispitivanje na habanje) od kojih se ponašanje dijelova u stvarnom pogonu može jako razlikovati.
U rješavanju novih problema treba polaziti od takvih iskustava, ali treba imati u vidu da tek u pogonskim istraživanjima počinje pravo rješavanje problema.

## OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE

**Koeficijent miješanja** - količnik površine osnovnog metala u metalu šava i ukupne površine metala šava,
**Koeficijent oblika šava** - količnik širine šava i dubine uvarivanja,
**Koeficijent nadvišenja šava** - količnik širine šava i nadvišenja,
**Koeficijent topljenja**- količnik istopljene mase jezgra electrode i jačine struje u jedinici vremena
**Primarna kristalizacija** - kristalizacija u uslovima istovremenog zagrijavanja i hlađenja, tipična za metal šava
**Unutarkristalna sagregacija**- povećana koncentracija nekih hemijskih elemenata unutar metalnog zrna, koja nastaje zbog razlike solidus i likvidus temperatura
**Međukristalna segregacija** - poveća koncentracija nekih hemijskih elemenata po granicama metalnog zrna, koja nastaje uslijed izlučivanja lakotopljivih eutektikuma
**Lokalna sagregacija** - lokalno povećanje koncentracija nekih hemijskih elemenata uslijed nejednovremene kristalizacije perifernih i centralnih oblasti metala šava
**Apsorpcija** - upijanje gasova iz okoline (kiseonik, vodonik, azot)
**Oksidacija**, sagorijevanje - hemijske reakcije vezivanja sa apsorbovanim kiseonikom, kojima nastaju oksidi
**Prečišćavanje metala šava**- smanjenje sadržaja sumpora, fosfora i oksida pomoću namjerno izazvanih hemijskih reakcija
**Odsumporavanje**- smanjenje sadržaja sumpora
**Odfosforavanje**- smanjenje sadržaja fosfora
**Tople prsline** - prsline koje nastaju na povišenoj temperature usljed neravnomijernog skupljanja i širenja metala smanjenje plastičnosti
**Kristalizacione tople prsline** - tople prsline koje nastaju u temperaturnom interval između likvidus i solidus linijea
**Temperaturni interval krtosti** (TIK) - područje smanjene plastičnosti legure između solidus i likvidus temperature
**Hladne prsline** - prsline koje nastaju na kraju hlađenja kombinovanim dejstvom zateznih napona, vodonika i martenzitne transformacije
**Lamelarne prsline** - prsline koje nastaju dejstvom zateznih napona u pravcu debljine
**Prsline uslijed ponovnog zagrijavanja** - prsline koje ponovno nastaju uslijed neravnomijernog širenja pri termičkoj obradi poslije zavarivanja
**Oblast pregrijavanja - krupnozrna oblast u ZUT**, neposredno uz oblast nepotpunog topljenja, koja odgovara temperature znatno iznad $A_{e3}$
**Oblast normalizacije - sitnozrna oblast u ZUT** koja odgovara temperature iznad $A_{e3}$
**Oblast nepotpune normalizacije - oblast u ZUT** koja odgovara temperature iznad $A_{e1}$ i $A_{e3}$
**Oblast rekristalizacije - oblast u ZUT** koja nastaje kod hladnovaljanih čelika ispod $A_{e1}$

**Dijagrami kontinuiranog hlađenja pri zavarivanju (KHZ)** - dijagram austenitnog raspada koji simulira uslove zavarivanja

**LITERATURA**

[1] Hadžipašić A.: Termička obrada metala i legura, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 1993.

[2] Pantelić I. Tehnologija termičke obrade čelika 1.: Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1974.

[3] Haračić N. Predavanja iz predmeta:Termička obrada, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica 20015.

[4.] Termička obrada čelika, Metalbiro Zagreb, 1978.

[5.] T. Filetin T.: Izbor materijala pri razvoju proizvoda , Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2000.

[6.] Zbornik referata sa savetovanja: Savremene tehnologija termičke obrede metala u industriji, Beograd 1966.

[7.] Lemeš S.: Haračić N.: Internet kao izvor naučnih i tehničkih informacija, Mašinstvo Vol.2.Nr.2,1998.

[8] CajnerF., StupnišekM.: Osnove toplinske obrade, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2001.

[9] Pantelić I. Tehnologija termičke obrade čelika 1.: Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1974.

[10] George E. Totten:Steel Heat Treatment Handbook, Portland state university, Portland, USA.1991.

[11] Kraut B .: "Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb 2009.

[12] Haračić N: 130 godina postojanja, razvoja i primjene Fe-C (Fe-Fe3C) dijagrama stanja,
6. Naučno-stručni skup sa sa međunarodnim učešćem ”KVALITET 2009”, Neum, B&H, 04.- 7.juni 2009.
[12][13]Haračić N: Savrememi materijali u mašinogradnji, Mašinstvo,Zenica 2012.

[14] Gojić M: Metalurgija čelika, Metalurški fakultet, Sisak, 2005.

[15]Filetin T., Kovačiček F., Indof J.: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.

[16] Michel J., Buršák M., Mamuzić I.: The Microstructure Notch Tougness Relationship of Microalloyed Steels, Metalurgija, 1997.

[17] Jäger B., Richle M., Schall W.: Mikrolegierte Stähle, Neue Hütte, 1980.

[18]Ragnarsson L., Sichen D.: Generated during ingot casting of tool steels, Steel Research Int. 2010.

[19]Sonderegger D.B., Kozeschnik E., Leitner H., Clemens H., Svoboda J., Fischer F. D., Staron P.: Kinetics of precipitation in a complex hot-work tool steels, Steel Research Int. 2010.

[20]F. Felli, A. Sciutelli, L. Ippati, L. Fedrizzi, A. Molinari: Corrosion fatique characterisation of sintered multiphase stainless steels, Materials Science and Technology, 2005.

[21] Time Temperature Transformation (TTT) Diagrams, R. Manna, Assistant Professor, Centre of Advanced Study, Department of Metallurgical Engineering, Institute of Technology, Banaras Hindu University, Varanasi-221 005, India

[22] N.Haračić. Strukturni preobražaji austenita pri kontinuiranom zagrijavanju ili izotermalnom držanju, Metalografski laboratorij Metalurškog instituta u Zenici
[23] Haračić N.: Predavanja iz predmeta Termička obrada metala, Politehnički fakultet u Zenici, Zenica 2014.

[24] [25] HildenwallB.: Prediction of the Residual Stresses Created during Quenching, Dissertation No. 39, Linköping Studies in Science and Technology, Linköping, Sweden, 1979.

[25] KoistinenD.P. and MarburgerR.E.: A General Equation Prescribing the Extent of the Austenite-Martensite Transformation in Pure Iron-Carbon Alloys and Plain Carbon Steels, Acta Metall., Vol 7, 1959., p 59-60

[26] EldisG.T.: A Critical Review of Data Sources for Isothermal Transformation, in Hardenability Concepts with Application to Steel, D.V. Doane and J.S. Kirkaldy, Ed., TMS-AIME, 1978, p 126-157

[27] MelanderM. and NicolovJ., Heating and Cooling Transformation Diagrams for the Rapid Heat Treatment of Two Alloy Steels, J. Heat Treat., Vol 4, 1985, p 32-38

[28] Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Vol 1-4, Max-Planck-Institut für Eisenforschung, with the Verein Deutscher Eisenhütteleute, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1954-1976

[29] KirkaldyJ.S.: Diffusion-Controlled Phase Transformations in Steels. Theory and Applications, Scand. J. Metall., Vol 20 (No. 1), 1991

[30] KraussG.: Martensitic Transformation, Structure and Properties in Hardenable Steels, in Hardenability Concepts with Application to Steel, TMS-AIME, 1978, p 229-248

[31] AndrewsK.W.: Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperatures, J. Iron Steel Inst., Vol 203, 1965, p 721-727

[32] Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams, American Society for Metals, 1977

[33] AtkinsM.: Atlas of Continuous Transformation Diagrams for Engineering Steels, British Steel Corporation, Sheffield, 1977

[34] Haračić N:Dijagram stanja Fe-$Fe_3C$ –Repetitorij, www.mf.unze.ba

[35] http://afrodita.rcub.bg.ac.rs/~rzoran/VDj-TO.pdf - „Termička obrada čelika“ – zadnji put pristupano 11.02.2015.

[36] http://www.dinagent.com/downloads/vakumskepeci.pdf

[37]http://www.ipsen.de/en/Products/VacuumTechnology.htm

[38]BSI British standards: Unfired pressure vessels- Part 4: Fabrication, 2009,Brussels

[39]British standards:Welding - Quality requirements for heat treatment in connection with welding and allied processes (ISO 17663:2009), 2009, Brussels

[40]http://www.iso.org/

[41]http://www.bas.gov.ba/